

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS AGRÓNOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN GOI
MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

*Diseño de metodología y desarrollo de recursos para la modelización de Especies Exóticas
Invasoras; análisis de su aplicabilidad en el caso de Vespa velutina*

presentado por

MIRIAM RUIZ DE LARRAMENDI FORTÚN

aurkezlea

**MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN
*MASTERRA INFORMAZIO SISTEMA GEOGRAFIKOETAN ETA TELEDETEKZIOAN***

Septiembre 2017 Iraila



1. TÍTULO

*“Diseño de metodología y desarrollo de recursos para la modelización de Especies Exóticas Invasoras; análisis de su aplicabilidad en el caso de *Vespa velutina*.”*

2. Resumen

El presente trabajo fin de master propone profundizar en el conocimiento de los procesos de modelización de la distribución potencial de especies en un territorio. Su principal objetivo es diseñar una metodología que permita al Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local (DRMAyAL) del Gobierno de Navarra la futura utilización de estas herramientas de manera efectiva como estrategia de prevención frente al creciente y grave problema ambiental que está suponiendo la aparición de especies exóticas invasoras (EEIs). Para ello, además de revisar algunos parámetros del funcionamiento de estos programas que faciliten su uso, se desarrollan algunos recursos informáticos, como una biblioteca de capas, necesarios para la modelización de un amplio rango de especies animales y vegetales. Como caso práctico en el que contrastar el desarrollo de este estudio, el trabajo se centrará en el seguimiento de *Vespa velutina*, una de las especies de reciente aparición más preocupantes en España tras la aprobación del Reglamento sobre EEIs.

3. Palabras clave

- Modelización ecológica
- Modelos de distribución de especies
- Especies exóticas invasoras
- Avispón asiático; *Vespa velutina*
- Maxent

4. Abstract

This work proposes to deepen into the knowledge of the species distribution modelling proces in a territory. Its main objective is to design a methodology that will allow the Department of Rural Development, Environment and Local Administration (DRMAyAL) of the Government of Navarra to use these tool effectively as a prevention strategy to face the growing and serious environmental problem which is the occurrence of invasive alien species. To do this, in addition to review the modelling software (Maxent) to facilitate its use, some computer resources are developed, such as a layer library, necessary for the modelling of a wide range of animal and plant species. As a practical case in which to contrast this study, the work will focus on the follow-up of *Vespa velutina*, one of the most worrisome recent species in Spain after the adoption of the Alien Species Regulation.

5. Keywords

- Species Distribution Modeling (SDM)
- Alien species
- Asian hornet; yellow-legged hornet; *Vespa velutina*
- Maxent

6. Índice

1.	TÍTULO.....	2
2.	Resumen	2
3.	Palabras clave	2
4.	Abstract	2
5.	Keywords.....	2
6.	Índice	3
7.	Índice de figuras	3
8.	Índice de tablas	4
9.	Introducción (Antecedentes y Objetivos)	5
10.	Material y Métodos.....	12
11.	Resultados y Discusión.....	46
12.	Conclusiones	63
13.	Bibliografía	66
14.	ANEXOS	68
	Anexo I: Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras	69
	Anexo II: Especies del Catálogo Español de Exóticas Invasoras detectadas en Navarra (31/12/2015)	73
	Anexo III: <i>Vespa velutina</i> : biología, ecología y otros datos de interés.....	75
	Anexo IV: variables ambientales	78
	Anexo V: Municipios con mayor probabilidad de aparición	85

7. Índice de figuras

Figura 1. Herramienta de procesado para la Reclasificación, paso de Ráster a Polígono y Disolución, en Model Builder.....	45
Modelo preliminar. Distribución obtenida a partir de 25 variables de información.	46
Modelo 1. Distribución obtenida a partir de 19 capas climáticas.	47
Modelo 2. Distribución obtenida a partir de 12 capas ambientales no climáticas.	47
Jackknife Modelo 1	48
Jackknife Modelo 2	48
Jackknife Modelo 3	49
Modelo 3. Distribución obtenida a partir de primera selección de variables climáticas y ambientales.....	49
Tasa de omisión y curva ROC para el Modelo 5.....	50
Modelo 4. Distribución obtenida a partir de 10 capas seleccionadas (sin Distancia a núcleos urbanos).....	51
Modelo 5. Distribución obtenida a partir de 10 capas seleccionadas y datos filtrados geográficos	51
Modelo 6. Distribución obtenida a partir de 10 capas seleccionadas y datos de un solo año (2016)	51
Modelo 7. Factor de Regularización = 0,5	52
Modelo 7. Factor de Regularización = 1	52
Modelo 7. Factor de Regularización = 1,5	52
Modelo 7. Factor de Regularización = 3	52
Patrón de distribución geográfica potencial	53
MODELO ÓPTIMO: Modelo 7 con Factor de Regularización = 1,5.....	56

8. Índice de tablas

Tabla 1. EEIs presentes en Navarra.....	8
Tabla 2. N° citas/año	41
Tabla 3. Clases de Probabilidad.....	45
Tabla 4. Resumen de parámetros numéricos.....	53
Tabla 5. Superficies afectadas	54

9. Introducción (Antecedentes y Objetivos)

Modelo de Distribución de Especies (MDE)

En los últimos años la comunidad científica ha trabajado en el desarrollo de sistemas de análisis de los patrones de distribución espacial de las poblaciones animales y vegetales, y se ha generalizado el Modelo de Distribución de Especies (MDE) como herramienta que permite analizar objetivamente esta distribución (Mateo *et al.*, 2012).

Una de las definiciones más aceptadas para un **modelo** es la de “una descripción simplificada de un sistema físico real, en la que aparecen algunas de sus propiedades” (Joly, 1988). En el caso de modelos de distribución de especies, lo que se modeliza es el valor de idoneidad para el desarrollo de una especie en cada punto o región del terreno (celdas). Dicha idoneidad para el desarrollo es la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. De esta forma se obtiene la probabilidad de presencia de una especie en una región del espacio, en forma de valor para cada unidad en que se divida el territorio (celdas) (Guisan and Zimmermann, 2000).

Es decir, un MDE se puede obtener mediante software específico, a partir de datos de presencia de la(s) especie(s) objeto de estudio, y una serie de variables ambientales que ejerzan influencia sobre la distribución de dicha clase de organismo. Existe una amplia variedad de métodos informáticos, basados en el análisis estadístico y cartográfico de los datos, para la obtención de estos modelos. El objetivo es caracterizar cada celda de la región objeto de estudio en cuanto al valor de probabilidad de ocurrencia, como función de las condiciones medioambientales presentes en dicha celda (Peterson *et al.*, 2011).

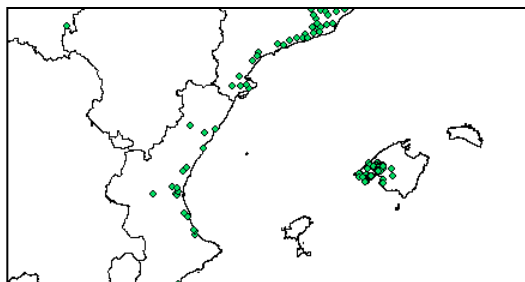
Historia de los estudios de modelización

Los primeros estudios relacionados con la distribución de las especies en relación a variables ambientales se desarrollaron en los años 50, a partir de la profundización en el concepto de “nicho” por parte del ecólogo inglés George Evelyn Hutchinson, quien centró parte de su trabajo en el análisis de por qué existen tantos tipos de organismos en un único hábitat. Su trabajo en esta cuestión inspiró a la comunidad científica para desarrollar modelos que explicaran cuánto y cómo podían coexistir especies en un mismo entorno.

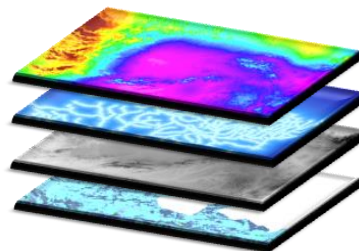
G. E. Hutchinson propuso que es posible caracterizar el nicho ecológico de una especie como un mapa de dinámicas de población en un espacio ambiental, representado por un gráfico en el que los ejes son factores bióticos y abióticos que influyen en las tasas de natalidad y mortalidad. El análisis de los nichos es esencial para comprender la distribución geográfica de una especie y cómo los límites de esa distribución varían en un mundo tan cambiante como el actual (Holt, 2009). A partir de ahí, los primeros métodos se basaron esencialmente en la determinación de envueltas ambientales, método que aún se utiliza.

Sin embargo, ha sido a principios del presente siglo cuando los modelos de distribución de especies y los estudios relacionados con los nichos ecológicos han experimentado un avance significativo gracias al auge de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que han permitido desarrollar y construir información cartográfica específica para este fin. El interés en el desarrollo de MDEs y estudios relacionados con los nichos ecológicos se han incrementado significativamente, con abundantes libros y artículos publicados desde el año 2000 (Booth *et al.*, 2014).

Los SIG son uno de los pilares fundamentales sobre los que se apoyan las herramientas de modelización, las cuales requieren en muchos casos trabajar con capas de información que normalmente han de ser elaboradas a partir de información ambiental, e incluso en ocasiones re-procesadas en parte, a través de los SIG.



Shape de puntos (X, Y) correspondientes a localizaciones reales de una especie



Capas (ráster) de información sobre variables ambientales de influencia para la especie en cuestión

Aplicaciones de los Modelos de Distribución de Especies

Las aplicaciones de los modelos de distribución de especies son muy numerosas a día de hoy. Entre los campos de aplicación quizás los más evidentes sean los relacionados con la riqueza de especies y su distribución (patrones de diversidad, biogeografía, delimitación de regiones biogeográficas, efectos de la actividad humana en la distribución de especies); también están siendo aplicados a la distribución potencial de comunidades (reintroducción de especies amenazadas, diseño de reservas, localización de corredores óptimos para la distribución de especies), así como el caso que nos ocupa que son los estudios de conservación: detección de hábitats amenazados, posibles efectos del cambio climático, localización y conservación de nuevas presencias de especies raras, o el que interesa en el presente proyecto que es el análisis de invasiones biológicas.

La finalidad de la elaboración de MDEs en estos casos es la de ofrecer una versión “manejable” del sistema, facilitar la comprensión de su estructura, generar y testar hipótesis, explorar distintos escenarios, generar predicciones a corto plazo y apoyar en la toma de decisiones (Benito, Blas M, 2016).

Modelización como estrategia de actuación frente a invasiones biológicas

Especies Exóticas Invasoras (EEIs): cuestiones generales

Tras la pérdida de los hábitats naturales, la aparición y expansión de especies exóticas en un territorio constituye la segunda causa de pérdida de biodiversidad en el mundo. Las EEIs son aquellas especies cuya introducción, mediada por acción humana accidental o deliberada, y propagación en un entorno natural en el cuál no se encuentran por circunstancias naturales, constituye una amenaza real para la biodiversidad y la economía del nuevo ambiente en el que se desarrollan (Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras), (Boletín Oficial del Estado, 2013). La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, define una especie exótica invasora como “aquella que se introduce o establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor, o por el riesgo de contaminación genética”.

La aparición de especies exóticas en un territorio, bien sean animales, plantas, hongos o micro-organismos, no siempre es motivo de alarma. Sin embargo, una cierta proporción de estas especies puede tener un comportamiento invasivo y ejercer un impacto significativo sobre la biodiversidad y los ecosistemas relacionados, así como otros impactos económicos y sociales, lo cual debe ser prevenido.

En los últimos años se ha incrementado espectacularmente el número de especies alóctonas (no originarias del territorio), debidas a la actividad humana. Y aunque de forma natural se dan ocasionalmente fenómenos de expansión de especies, la facilitación humana para sobrepasar barreras naturales es un proceso no natural que puede generar impactos ambientales de primer orden. Alrededor de 12.000 especies que ya habitan Europa se consideran exóticas (no autóctonas, o procedentes de otros territorios), de las cuáles se estima que de un 10 a un 15% son invasoras (Regulation (EU) N° 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22, October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species), (EU, 2014).

Este número de especies, y como consecuencia, el riesgo asociado a la aparición de especies con comportamiento invasivo, se ve agravado actualmente por la creciente globalización del comercio, transporte, el turismo y el cambio climático, y es especialmente preocupante en ambientes aislados tanto geográfica como evolutivamente, como es el caso de las islas y las aguas continentales. Por otro lado, la presencia de EEIs en las demarcaciones hidrográficas pone en riesgo el cumplimiento de los objetivos medioambientales establecidos por la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

La amenaza a la biodiversidad y ecosistemas que suponen las especies exóticas toma diferentes formas, incluyendo: impactos severos en las especies nativas o autóctonas, modificaciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas a través de la alteración de los hábitats, depredación, competición, transmisión de enfermedades, o reemplazamiento de especies autóctonas por efecto de hibridación. Más aún, las especies exóticas invasoras pueden también tener un efecto adverso significativo en la salud humana y en la economía.

Pero además de la amenaza que supone a la Biodiversidad, las EEI también pueden ocasionar graves perjuicios a la economía, especialmente a la producción agrícola, ganadera y forestal, e incluso a la salud pública (Boletín

Oficial del Estado, 2013; Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras). Claros ejemplos de este perjuicio son los casos de mejillón cebra (*Dreysena polymorpha*) por su capacidad de colonizar canalizaciones y tuberías hasta atascarlas, o el jacinto de agua o camalote (*Eichhornia crassipes*), cuya rápida expansión en los ríos ha forzado a la Confederación Hidrográfica del Ebro a realizar importantes inversiones económicas para su control.

EEIs en España

Aunque cada Comunidad Autónoma puede elaborar listas complementarias con especies que generan problemas invasivos locales, se ha elaborado en primera instancia un Catálogo Nacional con un total de 181 especies de flora y fauna que se consideran especies invasivas en cualquier punto del territorio.

El **Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras (CEEEI)**, regulado por el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, tiene como principal objetivo establecer las características, contenidos, criterios y procedimientos de inclusión o exclusión de especies en el mismo; asimismo recoge las medidas necesarias para prevenir la introducción de especies exóticas invasoras y para su control y posible erradicación.

Como se concreta en el capítulo III de dicho RD, se establecen las Medidas de prevención y de lucha contra las especies exóticas invasoras. Entre estas medidas se incluye como medida de seguimiento general y de prevención, la realización de un Análisis de riesgos, que debe contener información sobre las probabilidades de escape o liberación accidental, de establecerse en la naturaleza, de convertirse en plaga, de causar daño medio ambiental o de afectar negativamente a la biodiversidad autóctona o a los recursos económicos asociados al patrimonio natural y una descripción de las actuaciones previstas a realizar en caso de escape o liberación accidental, con una valoración de la viabilidad y técnicas de control, erradicación o contención.

Este RD establece también el contenido de las estrategias de gestión, control y posible erradicación de las EEIs (Artículo 16), las cuáles deberán tener, al menos, el siguiente contenido:

- Definición de la especie o especies objetivo y diagnóstico de su problemática.
- Análisis de riesgos.
- Análisis de vías de entrada.
- Medidas de actuación y definición de la estrategia a seguir: gestión, control y posible erradicación.
- Distribución y abundancia.
- Actuaciones de coordinación entre las diferentes administraciones públicas.
- Actuaciones de seguimiento de la eficacia de aplicación de la estrategia.
- Actuaciones de sensibilización y educación ambiental sobre la problemática de EEIs.
- Análisis económico de los costes de la aplicación de la estrategia sobre terceros o instalaciones afectadas de forma involuntaria por la presencia de especies exóticas invasoras.

A pesar de lo reciente de esta normativa, vista la importancia que ha adquirido este tema durante los últimos años, se están realizando diversos trabajos y, a nivel general, se han desarrollado y aprobado ya tres estrategias de lucha contra sendas especies exóticas invasoras. En estas estrategias resulta esencial la elaboración de modelos predictivos de invasión que permitan adecuar cualquier medida de Detección y Erradicación Temprana, que constituyen la clave de la estrategia de lucha contra las EEIs.

Garantizar una estrategia de actuación efectiva contra las EEIs requiere contar con información relativa a la distribución y abundancia de las especies, lo que permite facilitar el diseño de las medidas necesarias para prevenir la introducción y la propagación en el medio natural y predecir la distribución de las especies exóticas invasoras, así como su seguimiento.

EEIs en Navarra

De las 181 especies de fauna y flora incluidas en el Catálogo Español de EEIs (ver Anexo I), 40 ya han sido detectadas en Navarra – a fecha de agosto de 2017-, pertenecientes tanto a especies de fauna (vertebrados e invertebrados) como de flora y algas; y otras tantas se espera que continúen su expansión por la Península Ibérica y aparezcan también en la Comunidad Foral en los próximos años.

EEIs	Presentes en Navarra
Algas y Flora	13
Invertebrados	8
Vertebrados	19
Total	40

Tabla 1. EEIs presentes en Navarra

Entre las 40 especies presentes en Navarra se encuentran algunas como el mapache (*Procyon lotor*), omnívoro voraz, o el galápago americano (*Trachemys scripta*), de las cuales, prácticamente todos los individuos que aparecen en la región proceden de sueltas realizadas por propietarios que, en su momento, los adquirieron como animales de compañía. También destacan por su presencia en la comunidad por su incidencia sobre el medioambiente el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*), el coipú o rata nutria (*Myocastor coypus*), el visón americano (*Neovison vison*), o el que nos ocupa en el presente proyecto, el avispon asiático (*Vespa velutina*), especie que continúa en expansión por el norte de España desde su introducción en el sur de Francia en el año 2004.

Tanto por ser una de las primeras especies que entró en España en el momento de la aprobación del Real Decreto de Invasoras, como por ser en Navarra una de las zonas de introducción inicial en donde se ha podido tomar datos de distintos parámetros que pueden condicionar su presencia, *Vespa velutina* se ha convertido en una especie de referencia a nivel nacional, y los datos que se obtienen en Navarra sirven para analizar modelos de invasión tanto de esta especie como de otras en todo el territorio nacional.

Avispón asiático (*Vespa velutina*) como una de las principales EEIs en Navarra

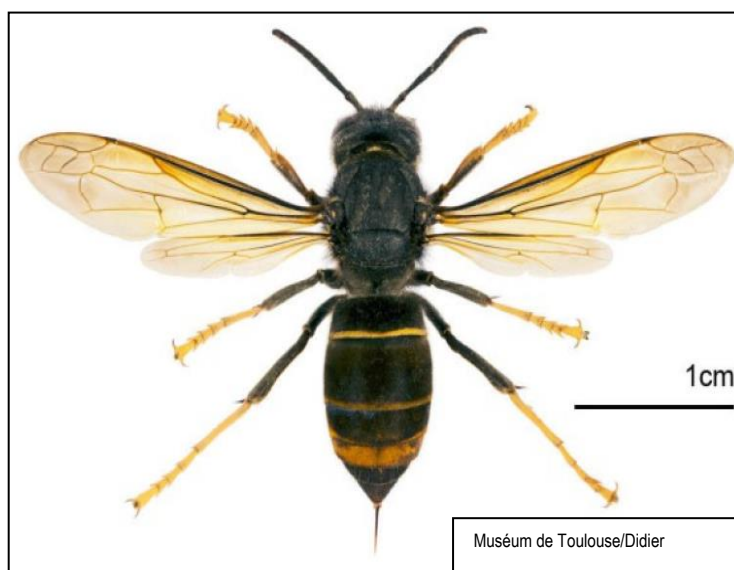
Datos generales

El avispon asiático (*Vespa velutina* Lepeletier, 1836) es una especie de la familia de los véspidos nativa del sureste asiático, su rango de distribución natural incluye Bangladesh, Bután, China (incluyendo Hong Kong), India, Indonesia, la República de Corea, Laos, Malasia, Birmania, Tailandia y Vietnam.

Fue introducida accidentalmente en Lot-et-Garonne, un distrito del suroeste de Francia, antes de 2004. En 2010 fue vista por primera vez en el norte de España y en 2012 se encuentra también en el norte de Portugal. También ha sido detectada en Bélgica e Italia. En 2012, *Vespa velutina* estaba presente en 66 regiones europeas (360.000 km²), y tenía un ritmo de expansión de unos 100 km al año.

En España la primera cita confirmada se realizó en agosto de 2010 en Amaiur, Navarra, población de la comarca del Baztán. Ese mismo año fue detectada también en el País Vasco, en Gipuzkoa (Legazpi, Irún, Hondarribia, Oiartzun, Pasaia, Lasarte-Oria y Aduna).

El avispon asiático *Vespa velutina* ssp. *nigrithorax* mide entre 17 y 32 mm de longitud. Las reinas suelen alcanzar las mayores tallas, por encima de los 30 mm, mientras que las obreras presentan una talla media de 25 mm. Es de tamaño parecido a la especie autóctona *Vespa crabro*, cuyas obreras miden entre 18 - 23 mm y las reinas entre 25 - 35 mm.



Vista de frente, la cabeza de *Vespa velutina* es color naranja y las patas en su parte final, amarillas. Su característica diferencial es que todos los segmentos del abdomen son de color negro o pardo ribeteados con una raya amarilla en su parte final, salvo el 4º segmento que es enteramente amarillo o naranja.

Los nidos son grandes y de forma esférica u ovalada (normalmente sobrepasan los 40 cm de diámetro), contruidos normalmente en las copas o partes altas de los árboles y, menos frecuentemente, sobre arbustos. En los periodos de máxima actividad puede haber entre 1200 y 1800 individuos dentro de un nido secundario.

Como ya se ha indicado, la mayoría de los nidos de *V. velutina* están contruidos sobre las copas de los árboles y de forma ocasional en áreas no perturbadas y protegidas en edificios (escaleras, graneros abandonados, gallineros o partes de edificios, etc) o en zarzas, y muy rara vez enterrados.

Se incluye información ampliada sobre la biología de la especie en el Anexo III.

La especie entró en Navarra desde la parte norte, procedente del sur de Francia, asentándose inicialmente en la cuenca del Bidasoa para ir avanzando progresivamente hacia el sur de Navarra. Uno de los propósitos de este trabajo es determinar el alcance de este avance hacia el sur y en general, por todo el territorio navarro, analizando la idoneidad del terreno para la aparición de la especie.

Estrategias específicas de control

En 2016, el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente publica la “*Estrategia de gestión, control y posible erradicación del avispón asiático (Vespa velutina ssp. nigrithorax) en España*”. La finalidad de esta estrategia es establecer unos criterios orientadores para el control y, si es posible, la erradicación de la población de *Vespa velutina*. Se pretende con ello controlar la expansión de la especie así como los impactos en zonas donde se haya establecido.

Los objetivos específicos son:

1. Frenar la expansión de la especie a nuevos territorios a partir de los ya invadidos del norte (País Vasco, Navarra, Cataluña, Galicia, Asturias y Cantabria).
2. Mejorar el conocimiento de la especie para poder llevar a cabo medidas eficaces y efectivas de control, minimizando los efectos sobre especies no objetivo.
3. Reducir o eliminar los impactos producidos por esta especie.
4. Establecer un programa de seguimiento.
5. Mantener una coordinación efectiva a nivel nacional entre las administraciones competentes en el control de esta especie.

El ámbito de aplicación de la estrategia abarca la totalidad del territorio nacional.

Trabajos previos de modelización

Desde la aparición del avispón en Navarra, el Departamento de Medioambiente de Gobierno de Navarra está trabajando en el seguimiento y control de esta especie, de cara a controlar su propagación en el territorio y reducir en la medida de lo posible las afecciones sobre el medioambiente y principalmente sobre las poblaciones de abejas de la Comunidad. Desde el año 2010, el Departamento (a través de Jokin Larumbe Arricibita, Técnico de referencia en la materia) ha recogido datos precisos de la localización de nidos de la especie durante este tiempo.

Fruto de este trabajo de recopilación y análisis, en el año 2014 se realiza un estudio junto con personal del CREAM (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales) y el Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio Natural de la Generalitat de Cataluña, en las personas de Joan Pino, Jara Andreu y Enrique Álvarez, que se materializa en un primer modelo de riesgo de invasión para Navarra y Cataluña a partir de los datos registrados por Navarra.

Los resultados de la modelización del riesgo de invasión por *Vespa velutina* muestran una concentración del riesgo de invasión en las zonas de clima más oceánico (valles de las montañas vascocantábricas) y en zonas de clima relativamente templado y húmedo (cuencas y valles prepirenaicos), quedando excluidas de estas zonas de máximo riesgo las zonas más frías del norte (sierras y macizos pirenaicos y prepirenaicos). También muestran un riesgo de invasión relativamente bajo las regiones de clima mediterráneo continental de la mitad sur, exceptuando en éstas los principales cursos fluviales, que muestran un cierto riesgo de invasión.

Por otra parte, el citado documento “*Estrategia de gestión, control y posible erradicación del avispón asiático (Vespa velutina ssp. nigrithorax) en España*” publicado en 2016, incorpora en su Anexo IV el “*Modelo de riesgo*

de invasión en España de *Vespa velutina*". A partir de los datos de presencia proporcionados por las distintas comunidades autónomas, el Ministerio elaboró un modelo predictivo del riesgo de invasión de avispon asiático.

En ambos casos (2014 y 2016), para la obtención del modelo sólo se contó con datos de presencia. En el caso de las especies exóticas invasoras, dado que no están asentadas en el territorio desde tiempo suficiente, y que la colonización de un territorio es progresiva, se conocen solamente las coordenadas en las cuales ha sido localizada la especie, pero se desconoce si el área donde la especie está ausente se debe a que dicha área no es apta para su desarrollo o a que, por otras causas, la especie aún no ha llegado a colonizarla, es decir, no se conocen datos de Ausencias.

Es por ello que no se pueden tener en cuenta las ausencias en estos casos, a no ser que se trate de especies largo tiempo establecidas, y que se hagan muestreos dirigidos y específicos para su detección.

Para la obtención del modelo de 2016 a escala nacional tomó como referencia el modelo desarrollado por el CREAL (Pino, 2014) para Navarra y aplicado en Cataluña, tanto para contar con registros de localizaciones de nidos de la especie como para las variables explicativas a tener en cuenta.

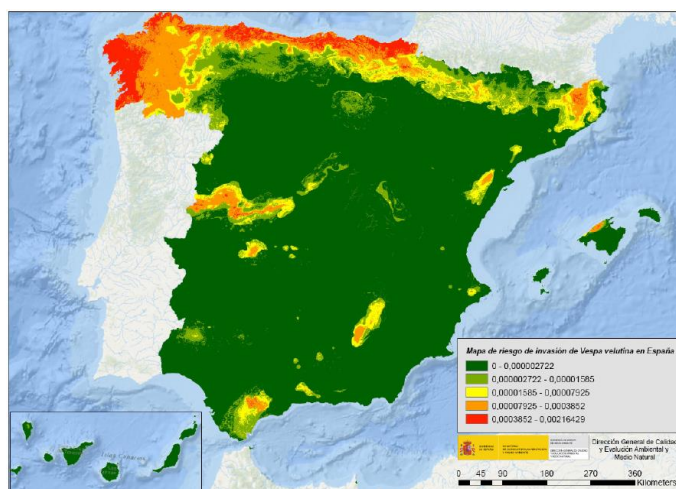
Concretamente, se partió de 802 datos de localizaciones, y las variables seleccionadas fueron las siguientes:

1. Temperatura media anual (Datos Agencia Española de Meteorología <http://www.aemet.es>)
2. Precipitación media anual (Datos Agencia Española de Meteorología <http://www.aemet.es>)
3. Usos del suelo (Datos de *Corine Land Cover*)
4. Distancia a ríos (Calculada a partir de la capa de ríos proporcionada por el Sistema Integrado de Información del Agua – SIA- del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Como resultado, y a pesar de las lógicas incertidumbres motivadas por la escasez de datos inicial, se obtuvo a partir del modelo de 2014 comentado anteriormente, la probabilidad de presencia para toda España que es el que figura en la Estrategia General para la lucha contra la especie y se presenta a la derecha.

Uno de los objetivos del presente trabajo, es precisamente perfeccionar esta previsión inicial de invasión de *Vespa velutina* en España a través de programas de modelización ajustados a la situación, y, como consecuencia, testar si ello también puede facilitar la aplicación a otras especies.

El hecho de que se haya obtenido desde el Ministerio un mapa de estas características da idea de la importancia creciente de los modelos de distribución geográfica en la lucha contra las especies exóticas invasoras.



Distribución potencial esperada para toda España con datos de presencias hasta 2014.

Objetivos del proyecto

El principal objetivo es profundizar en el conocimiento de las herramientas de modelización de especies aplicadas como estrategia de gestión frente a invasiones biológicas, y obtener una metodología y recursos que permitan la modelización de especies exóticas invasoras en un futuro. Como resultado se obtendrá un modelo de la distribución prevista de *Vespa velutina* en Navarra.

La consecución de dicho objetivo está supeditada a cuatro aspectos principales o fases en las que se puede desglosar el presente trabajo:

- Análisis de los parámetros de aplicación del modelo que faciliten su manejo en Navarra.
- Obtención de biblioteca de capas que pueda utilizarse para otras especies.
- Obtención de modelo predictivo: Modelización de *Vespa velutina*
- Aplicación del modelo predictivo de obtenido de *Vespa velutina* para la gestión del territorio.

Como primer paso hacia la consecución de dichos objetivos se analiza el funcionamiento de los programas de modelización y se estudian los parámetros que determinan su funcionamiento. Puesto que se cuenta con datos únicamente de presencia (coordenadas correspondientes a localizaciones nidos de la especie), la obtención del Modelo de Distribución de Especies (MDE) se llevará a cabo mediante el software Maxent.

En segundo lugar se desarrolla un repertorio de archivos (biblioteca de caps) que contendrán información relativa a una treintena de variables ambientales que puedan tener influencia sobre la distribución geográfica de especies animales y vegetales, con una extensión geográfica correspondiente a Navarra. La información de partida para la elaboración de las capas proviene, bien de fuentes fiables disponibles IDENA, etc), o bien son directamente provistas por el Departamento de Medioambiente de Gobierno de Navarra. Principalmente se utilizan ArcGis y Qgis para la obtención de dichas capas.

En una tercera fase se desarrolla un modelo predictivo de la probabilidad de asentamiento de *Vespa velutina* en Navarra a partir de datos actualizados hasta 2017, que suponga una herramienta útil y un soporte fiable para contribuir a la adecuada gestión y control de la especie en la Comunidad.

Dado que se pueden obtener múltiples modelos teóricos de distribución potencial, en función de las variables independientes utilizadas y de los datos de localizaciones introducidos, se analiza la fiabilidad de distintos modelos obtenidos y se contrastan los resultados con datos de presencia reales en el territorio, de cara a seleccionar el modelo que dé como resultado una distribución más ajustada a la realidad y de mayor precisión.

Como complemento, el proyecto propone una metodología de trabajo que repasa las fases de trabajo a llevar a cabo para la modelización de cualquier especie potencialmente invasora, desde la recopilación de la información relativa a la especie en cuestión y de datos geográficos sobre su localización geográfica (avistamientos) hasta el procesado final de los datos para la obtención del modelo en Maxent.

10. Material y Métodos

El presente trabajo se ha llevado a cabo en 5 fases o Tareas, las cuales se describen a continuación. Finalmente, es Tarea 4 la que ha dado lugar a la aplicación de un caso práctico de modelización, y cuyos resultados se analizan en los apartados 11. Resultados y discusión y 12. Conclusiones.

TAREA 1. HERRAMIENTAS DE MODELIZACIÓN: ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE.

Primeramente se llevará a cabo un estudio del estado del Arte (Tarea 1), centrado en dos aspectos: (A) una breve revisión de las técnicas de modelización existentes, y en segundo lugar (B) una descripción de los aspectos generales del funcionamiento de la herramienta de modelización seleccionada en el presente proyecto, Maxent. No obstante, en la Tarea 4 se profundiza en esta descripción del software.

A) Variedad de métodos de modelización existentes y elección de la herramienta:

Las diferentes técnicas de modelización desarrolladas por la comunidad científica hasta la fecha se pueden clasificar en los tres grupos siguientes:

- *Técnicas discriminantes*: son aquellas que necesitan datos de presencia y ausencia para construir el clasificador. Incluyen algunos métodos como Árboles de clasificación y técnicas derivadas, Redes neuronales, métodos derivados de la Regresión Logística como los Modelos Lineales Generalizados (GLM) o las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), estadística Bayesiana, o métodos de máxima entropía, entre los que destaca Maxent. Este software genera sus propias ausencias, denominadas “background”, por lo que no es necesario introducir datos de ausencia en el programa (Mateo et al., 2011).
- *Técnicas descriptivas*: estas técnicas solo requieren datos de presencia, y fueron las primeras utilizadas en modelización. Incluyen técnicas deductivas, como la opinión del experto, o los métodos de distancias matemáticas, entre otros.
- *Técnicas mixtas*: estos métodos emplean varias reglas, algunas de ellas descriptivas y otras discriminantes, a la vez que generan sus propias pseudoausencias. A partir de los modelos individuales obtenidos con diferentes métodos se pueden generar “modelos de consenso”, en los que el modelo final indica el grado de coincidencia entre varios modelos.

En el caso de las invasiones biológicas, normalmente se cuenta solo con datos de presencia de la especie, es decir, citas correspondientes a los puntos donde se ha encontrado; las zonas donde la especie está ausente no pueden considerarse ausencias para las EEIs, ya que se desconoce si la especie en cuestión no se ha asentado en ese lugar porque el hábitat no le es favorable, o simplemente porque todavía no ha llegado allí en su proceso expansivo. Esto impide la utilización de métodos clásicos como los modelos lineales generales (GLM) o generalizados (GLZ).

En los últimos tiempos se ha generalizado el uso de modelos bayesianos o de máxima entropía para la modelización de la distribución potencial de especies a partir de citas puntuales (Elith et al., 2011; Marcer et al., 2013) que se han ensayado con éxito también con datos bibliográficos de plantas invasoras.

Como herramientas concretas que pudieran servir para modelizar, los dos softwares que se utilizan frecuentemente y cuya utilización se recomienda actualmente son el paquete Dismo de R, y el software Maxent.

- R – cran.r-project.org / Rstudio: <http://www.rstudio.com/>:
 - Dismo - [cran.r-project.org/.../dismo](http://cran.r-project.org/web/packages/dismo/index.html)
 - SDM: <https://CRAN.R-project.org/package=sdm>
- MaxEnt: www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/

Como ya se ha comentado, para el caso que nos ocupa en este proyecto se ha elegido Maxent como herramienta a utilizar, debido a que se cuenta únicamente con datos de presencia de la especie y que ofrece resultados de gran calidad, entre ellos un archivo .asc de probabilidad de presencia que, como se verá más adelante, permite extraer gran cantidad de información a través de su procesamiento en ArcGis.

B) Estudio de software de modelización: MaxEnt

En primera instancia se planteó trabajar paralelamente con MaxEnt y R (paquete SDM); sin embargo, los paquetes de R requieren datos de ausencias de la especie, entendiéndose por “ausencia” un punto del terreno potencialmente habitable por parte de una especie, que ha sido muestreado y en el cuál dicha especie no se ha detectado. Para detectar ausencias, el muestreo debe de ser dirigido. Por el contrario, Maxent requiere únicamente datos de presencias y el programa es el que genera pseudoausencias en las zonas de fondo (parte del territorio en que no se ha muestreado). Por ello, se ha desestimado el uso de R en este proyecto y se ha utilizado únicamente el software Maxent. A continuación se resume el funcionamiento del software y la aplicabilidad de los resultados.

Descripción general del software

MaxEnt (cuyo nombre proviene de “máxima entropía”) es uno de los programas más empleados para la modelización de distribución potencial de especies dentro del mundo de los Sistemas de Información Geográfica. A través de un sencillo entorno visual permite analizar estadísticamente diversas variables territoriales (pendiente, temperatura, vegetación, altitud, humedad...), junto a datos de observaciones reales de una o varias especies. Como resultado se obtiene un conjunto de gráficas, tablas y mapas que dan idea de su distribución geográfica potencial.

Para poder manejar de manera correcta la aplicación, es necesario partir de variables territoriales en formato ASCII perfectamente estandarizadas a nivel de resolución y límites espaciales. Existen en repositorios de estas variables disponibles en Internet, principalmente de variables territoriales y climáticas a nivel mundial, tanto de datos actuales como de previsiones para el futuro.

La herramienta trabaja de manera independiente a los SIG, aunque existen aplicaciones específicas que permiten incorporar la herramienta de Maxent dentro de ArcToolBox para ArcGIS. Está soportado por Java y es de carácter gratuito, pudiendo descargarlo desde su página web oficial.

El manejo de la aplicación no es complejo, ya que consta de una interfaz bastante intuitiva a través de la cuál se introducen dos tipos de archivos: por un lado la información de la distribución inicial de la especie en formato CSV y, por otro lado, la información de variables territoriales dependientes de la especie en formato ASCII. Una vez indicados diferentes parámetros para la generación de resultados, Maxent devuelve la información analítica en tablas y gráficas así como un archivo ráster descriptivo del mapa de distribución potencial.

Maxent aplica un algoritmo de manera iterativa para conseguir el ajuste de una función de distribución; el proceso de ajuste implica la asignación de un valor aleatorio (“random walk”) para un parámetro (los coeficientes de cada variable predictora), con cada iteración se propone un nuevo valor para el parámetro, y este se acepta si aumenta la ganancia. La ganancia es similar a la desviación del Modelo Lineal Generalizado (GLM); es una función que se quiere maximizar para obtener el mejor modelo. El “random walk” comienza a partir de la distribución uniforme y continua en sucesivas iteraciones hasta que el incremento en la ganancia cae por debajo de un determinado nivel de convergencia (“Convergence threshold”), cuyo valor por defecto en Maxent es de 0.0001 pero puede ser definido por el usuario.

Variable dependiente: puntos de presencia

En ocasiones, los datos de una especie pueden corresponder a estudios de muestreo enfocados a estimar la distribución de un organismo, pudiendo en ese caso contar con datos de ausencias y de abundancia; pero generalmente, los datos provienen de muestreos no dirigidos y de observaciones oportunistas, que aportan únicamente datos de presencias (Mateo *et al.*, 2011).

A su vez, los datos pueden presentar errores de georreferenciación o de identificación taxonómica. También puede darse el caso de que hayan sido recogidos con diversos fines y por diferentes recolectores, sin una estrategia común de muestreo, por lo que pueden ser una representación sesgada de la distribución de la especie. Por ejemplo, esto podría darse, aunque no necesariamente siempre, cuando la localización de la especie se obtiene siguiendo un trazado determinado como puede ser a lo largo de una carretera, o cauce de un río (para especies no necesariamente ligadas al agua), o mediante trampeo localizado en zonas de fácil acceso. Aún así, este hecho no tiene por qué suponer necesariamente un sesgo, ya que el trazado podría discurrir a lo largo de regiones ambientales distintas y representar adecuadamente la distribución de la especie. Siempre y cuando el número de localizaciones sea suficiente, una solución para evadir este problema sería remuestrear los datos a partir de los cuáles se va a obtener el modelo.

Una cantidad suficiente de puntos de presencia es importante para obtener resultados de modelización aceptables, junto con una buena distribución de las localizaciones en el área de estudio. Si el número de localizaciones de entrada es suficiente y lo permite, es recomendable retirar una muestra aleatoria (a la que llamaremos “conjunto de test”), y utilizar esa muestra no para el cálculo del modelo, sino para después evaluar la calidad del ajuste del modelo. El % de ejemplos que se asigna al conjunto de test se establece manualmente en el Panel de Configuración (Settings) del programa.

Variables independientes (indicadores medioambientales)

Los factores ambientales tienen un efecto sobre la distribución de las especies, ya sea de una forma directa o indirecta. Las relaciones entre organismos y medio abiótico son una de las causas de los patrones espaciales de distribución, lo que hace que la distribución de los organismos sea descrita razonablemente bien por factores climáticos a escalas espaciales amplias, de kilómetros. Sin embargo, a escalas menores (cientos de metros o menos), es probable que la distribución responda a factores como la distribución de recursos y variaciones microtopográficas en las condiciones ambientales. Por lo tanto, la extensión espacial y la escala del trabajo condicionan la selección de variables independientes a incluir en la modelización.

El modelo predictivo se llevará a cabo en base a las **variables ambientales** seleccionadas. Lo razonable es incluir variables que cumplan simultáneamente tres condiciones. La primera es que sean potencialmente explicativas, es decir, que tengan una relación directa con la distribución de la especie (*Hirzel and Le Lay, 2008*), bien como factor limitante, bien como indicador a través de relaciones indirectas. La segunda es que muestren una variabilidad significativa en la zona de estudio. Finalmente, la tercera es que sean independientes o, al menos, no estén excesivamente correlacionadas entre sí, especialmente si se busca una interpretación biológica de los resultados (*Muñoz and Felicísimo 2004*).

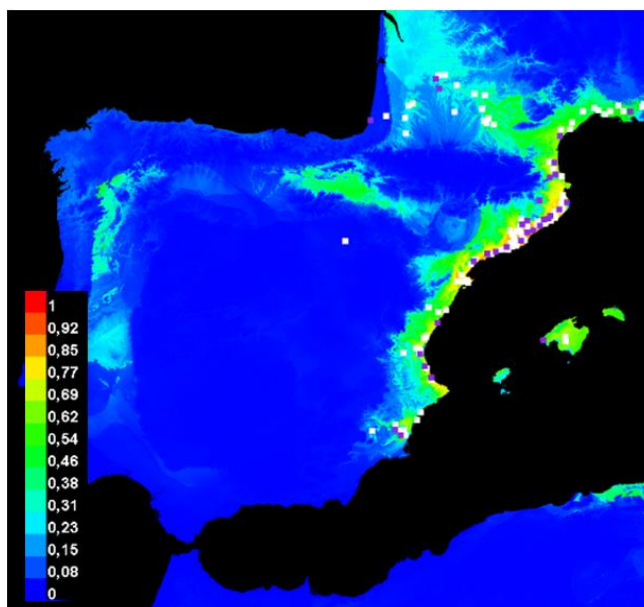
Precisamente, cuenta con información completa y actualizada de gran cantidad de información socio-geográfica, perfectamente organizada, desarrollada por el Gobierno de Navarra, y que puede ser obtenida a través de la Infraestructura de Datos Espaciales IDENA. Esto posibilita enormemente la labor de obtención de las capas ASCII de parámetros ambientales que son necesarias para la modelización, en este caso con Maxent.

Resultados que proporciona Maxent:

La ejecución del programa produce múltiples archivos de salida, de los cuales, el más potente y que da más información sobre el modelo a analizar es un archivo *.html*, que incluye gráficos sobre la calidad del modelo (curva ROC), estadísticas y tests *jackknife* sobre el peso de las variables en el modelo, y curvas de respuesta de las variables, entre otros. Parte de ese archivo proporciona los índices para las otras salidas.

Otra de ellas es un archivo *(.png)* que puede visualizarse en cualquier procesador de imágenes. La imagen usa los colores para indicar la probabilidad de condiciones adecuadas; rojo: indica alta probabilidad de condiciones adecuadas para la especie; verde: indica las condiciones típicas de aquellos lugares en los que efectivamente la especie se encuentra ya (localizaciones introducidas); y sombras más tenues de azul: indican baja probabilidad de condiciones adecuadas.

En este caso encontraríamos las condiciones más adecuadas para el desarrollo de una determinada especie en la costa mediterránea, islas Baleares, suroeste de Francia, valle del Ebro y parte este de Portugal, mientras que el resto del territorio (azul) no resultaría apto para la especie.

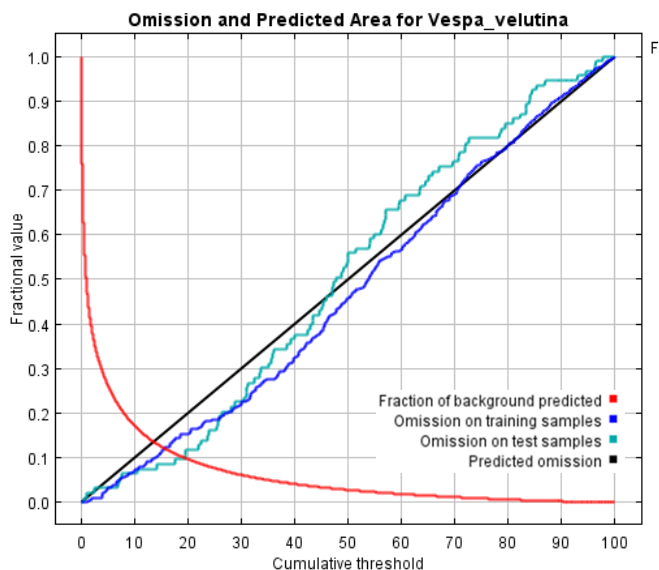


Distribución potencial de mosquito tigre (*Aedes albopictus*)
resultado de la modelización realizada para el ISNP.

– *Tasa de omisión*: Indica el rendimiento del modelo.

- Línea azul: muestra las fracciones de los puntos de presencia ubicados por fuera del área potencial con base en el modelo de Maxent.
- Línea roja: muestra las fracciones de los puntos de fondo (aleatorios) del área de estudio incluidos en el área predicha, usando diferentes umbrales acumulativos (*Cumulative threshold*)
- Línea negra: omisión predicha.

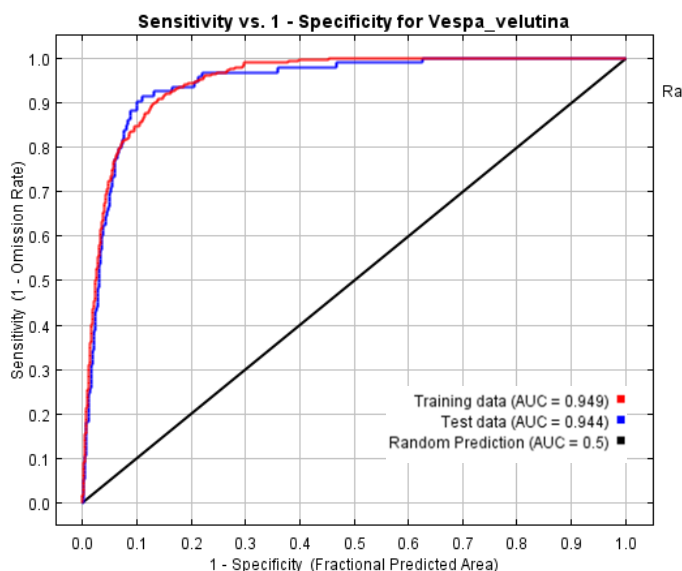
Conviene que la línea azul (*Omission training samples*) esté por debajo de la negra, pero no muy por debajo porque eso implicaría que el modelo está sobreajustado.



– *Curva ROC (Característica Operativa Relativa)* y AUC:

La bondad de los modelos estadísticos se ha estimado mediante el estadístico AUC, cuyos valores pueden estar entre 0,5 y 1. Un valor de 0,5 significa que el modelo no tiene valor discriminante (es equivalente a una clasificación al azar) y, en el otro extremo, un valor de 1 indica que el modelo ha separado presencias de ausencias con un ajuste perfecto, sin errores. Convencionalmente se suele aplicar una escala de interpretación de los AUC como la siguiente:

- $AUC > 0,95$: La distribución se explica muy bien a partir de las variables independientes, el modelo es excelente.
- $0,85 < AUC < 0,95$: La distribución se explica bien a partir de las variables independientes, el modelo es bueno.
- $0,75 < AUC < 0,85$: La distribución se explica moderadamente bien a partir de las variables climáticas, el modelo es aceptable.
- $AUC < 0,75$: La distribución actual se explica sólo parcialmente a partir de las variables independientes, el modelo es pobre.



La construcción de modelos de distribución de especies es, esencialmente, un proceso de clasificación (*Guisan and Zimmermann, 2000*). La variable dependiente es dicotómica (presencia/ausencia) y las independientes pueden ser cuantitativas (temperatura, elevación, etc) o nominales (litología, uso del suelo, etc). Los métodos implicados son clasificadores que deben generar un valor numérico para cada punto del terreno. Dicho valor refleja, directa o indirectamente, la idoneidad de presencia de la especie en función de los valores locales de las variables independientes.

Tipos de salidas:

Maxent sustenta tres formatos de salida para los valores del modelo: en bruto (*raw*), acumulativo (*cummulative*) y logístico (*logistic*). Los tres formatos de salida están relacionados de manera monótona, pero están a escalas diferentes y tienen diferentes interpretaciones.

- Bruto / *Raw*: la salida de datos en bruto la constituye el modelo exponencial de Maxent. Proporciona los valores de probabilidad para cada celda, siendo la suma de todos los valores de todas las celdas igual a 1. De modo que los valores son muy pequeños.
- Acumulativo / *Cumulative*: la salida acumulativa puede ser interpretada como una predicción de las condiciones adecuadas para la especie por encima de un umbral en el rango aproximado. En valores de 0 a 100, el valor de cada celda es el de la suma de todos los valores por debajo. La salida acumulativa se interpreta mejor en términos de la tasa de omisión predicha: si se configura un umbral acumulativo de *c*, la predicción binaria resultante tendrá una tasa de omisión de *c*% sobre las muestras deducidas a partir de la misma distribución de Maxent y se podrá predecir una tasa de omisión similar para muestras deducidas a partir de la distribución de la especie.
- Logístico / *Logistic*: es la salida por defecto y es más fácil de conceptualizar. Proporciona una estimación entre 0 y 1 de la probabilidad de presencia. Esta salida estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño del muestreo es tal que las típicas localizaciones de presencias tienen una probabilidad de presencia de alrededor de 0,5.

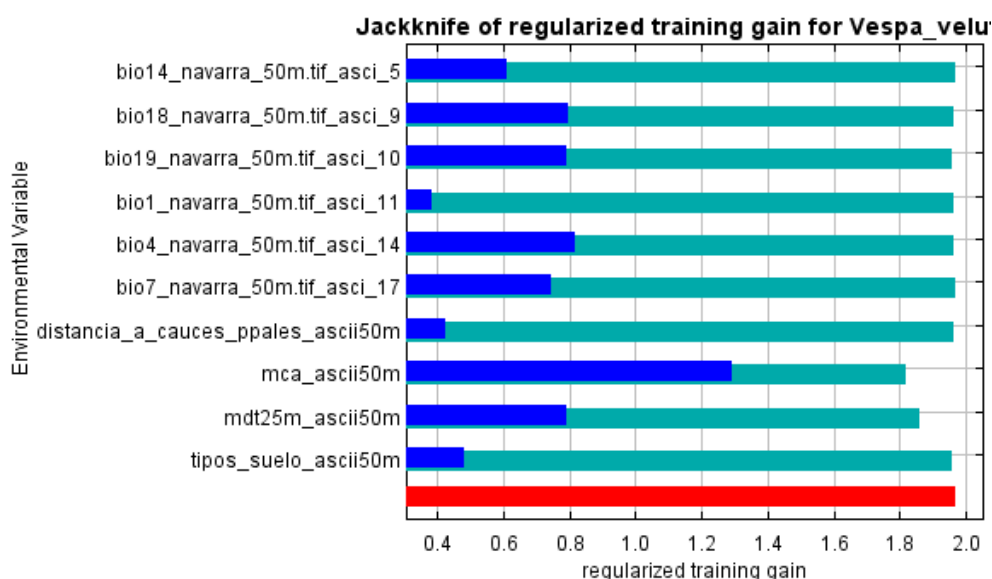
Diseño del análisis → Panel de configuración ó Settings

Maxent permite especificar parámetros de configuración para obtener el modelo en base a unos criterios; a continuación se describen algunos de esos parámetros, cuya influencia permite obtener un tipo u otro de modelo y facilitar la interpretabilidad de los resultados:

1. *Random test porcentaje*: se le indica al programa que debe escoger de manera aleatoria y apartar el % que se le indique de los registros de muestras, para usarlos en el test. Esto permite al programa efectuar algunos análisis estadísticos simples.

La mayor parte de los análisis estadísticos efectuados usan un umbral para hacer una predicción binaria, estando las condiciones adecuadas por encima de dicho umbral, las inadecuadas por debajo.

2. *Do jackknife to measure variable importance* ("Hacer un jackknife para medir la importancia de la variable"). Seleccionando esta casilla, en cada oportunidad se excluye una variable y se crea un modelo con las remanentes. Entonces se crea un modelo usando cada variable de manera aislada. Adicionalmente, se crea un modelo usando todas las variables, tal y como se hizo anteriormente. Los resultados de la prueba de *jackknife* aparecen como tres gráficos de barras, uno para los datos de entrenamiento, otro para los datos de test, y otro para el AUC:



Gracias a estos gráficos se analiza la ganancia que obtiene el modelo excluyendo cada variable (barras azul turquesa), y utilizando solamente cada una de ellas (barras azul oscuras), dando así idea de la utilidad de la variable para estimar la distribución de la especie en cuestión. En las gráficas de la ganancia de la prueba y de AUC, algunas de las barras azul turquesa son más largas que la barra roja, lo que indica que el desempeño para la predicción mejora cuando dicha variable no es usada. Finalmente, el análisis de estas gráficas permite obtener descartar variables y seleccionar las que aporten más información.

3. *Multiplicador de Regularización*: un valor menor que el valor por defecto (1) producirá una distribución de salida más localizada, la cuál se ajusta más estrechamente a los registros de presencia dados, pudiendo ser un ajuste excesivo (ajustándose tan cercanamente a los datos de entrenamiento que el modelo no generaliza bien para identificar los datos de prueba independientes). Influye en el nivel de enfoque. Un multiplicador de regularización mayor producirá una predicción más extendida, menos localizada. Ha de comprobarse la idoneidad de esta regularización mediante el análisis de los cambios en las AUC.

Otras consideraciones sobre Maxent

Los datos de presencia disponibles generalmente no cubren todo el rango de distribución natural de una especie. Los programas de modelización de la distribución de especies como Maxent permiten aproximar el rango total de distribución y son herramientas prácticas para identificar las áreas en que es probable que ocurra una especie.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que cuando un área geográfica presenta condiciones ambientales favorables para una especie, esto no necesariamente quiere decir que la especie efectivamente se encuentre presente en esa área. Limitaciones a la dispersión (debidas al sistema reproductivo de la especie, barreras geográficas, el hecho de que su hábitat natural haya sido alterado por interferencia humana, etc), pueden evitar que una especie ocupe todas las áreas geográficas que presenten ambientes similares al de su nicho detectado.

Para consultar información completa sobre la utilización y funcionamiento del software se proponen la siguiente documentación:

- Steven J. Phillips. 2017. "A Brief Tutorial on Maxent".
- Steven J. Phillips, Robert P. Anderson, Robert E. Schapire. 2006. "Maximum entropy modeling of species geographic distributions". *Ecological Modelling*, 190:231-259, 2006.
- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. 2004. "A maximum entropy approach to species distribution modeling". In *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, pages 655-662.
- Jane Elith, Steven J. Phillips, Trevor Hastie, Miroslav Dudík, Yung En Chee, and Colin J. Yates. 2011. "A statistical explanation of MaxEnt for ecologists". *Diversity and Distributions*, 17:43-57.
- Corey Merow, Matthew J. Smith, and John A. Silander, Jr. 2013. "A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter". *Ecography*, 36: 1058–1069.
- Aleksandar Radosavljevic and Robert P. Anderson. 2014. "Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting, and evaluation". *Journal of Biogeography*, 41: 629–643.

TAREA 2. DESARROLLO DE CAPAS (RASTER/ASCII) CON INFORMACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

Como se ha señalado en apartados anteriores, la utilización de Maxent para la obtención de Modelos Digitales de Especies requiere, por un lado la información de la distribución inicial (**variable dependiente**) de la especie en formato CSV y, por otro lado, la información de parámetros ambientales del territorio (**variables independientes**) ocupado por la especie, en formato ASCII. Una vez indicados diferentes parámetros para la generación de resultados, Maxent devuelve la información analítica en tablas y gráficas así como un archivo ráster descriptivo del mapa de distribución potencial.

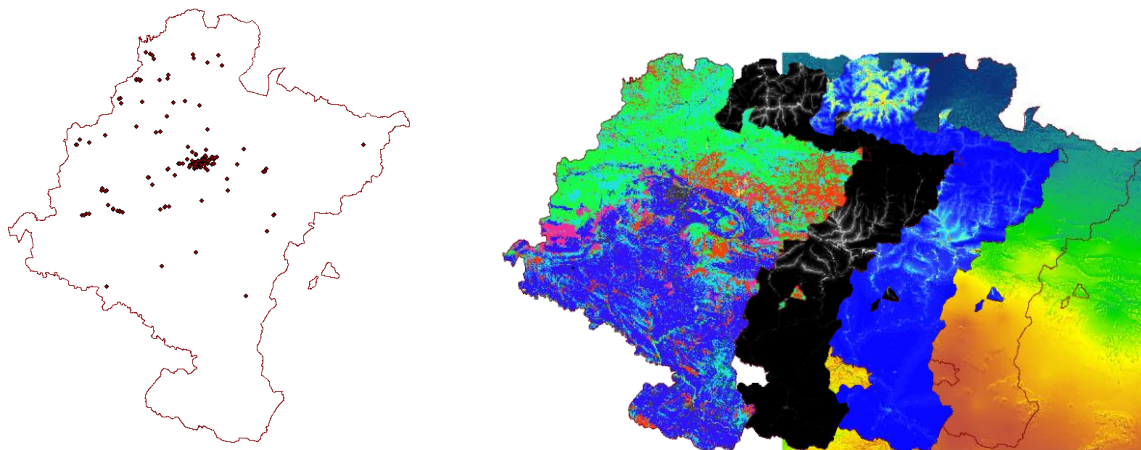
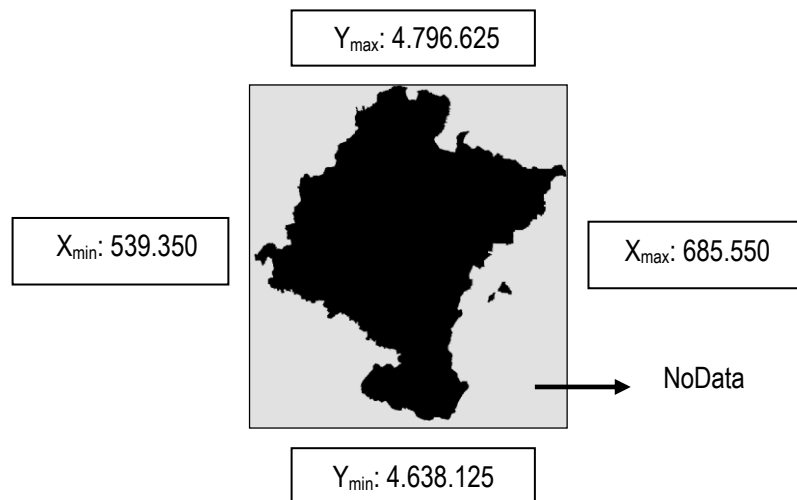


Imagen de datos de localizaciones de Vespa velutina en Navarra y variables ambientales

El objetivo de esta tarea ha sido crear un repositorio de variables ambientales en formato Ascii que sirva de biblioteca para la modelización, no sólo de *Vespa velutina* en el marco de este proyecto, sino también de cualquier especie cuya gestión, control y seguimiento pudiera ser de interés para el Departamento de Medioambiente de Gobierno de Navarra.

Una de las primeras consideraciones a tener en cuenta previamente a la preparación de esta biblioteca es el alcance de las variables independientes, es decir, qué parámetros se iban a recoger, a qué resolución espacial y el área geográfica a cubrir. Durante la planificación global del proyecto se establecieron los siguientes criterios para el alcance de la biblioteca de capas:

1. Parámetros: climáticos, edafológicos, antrópicos, etc, que puedan ser de utilidad de cara a futuras modelizaciones de EEIs. Finalmente se plantean las siguientes temáticas:
 - Climáticas: T^a media, máxima y mínima anuales, trimestrales; Precipitación máxima, mínima, media.
 - De cobertura del terreno: zonas de influencia humana (redes de transporte principales, núcleos urbanos, zonas de cultivo); Mapa de Cultivos y Aprovechamientos.
 - Topográficas: elevación (MDT), pendiente, curvatura, orientación: radiación solar potencial.
 - Edafológicas (litológicas y geológicas).
 - Hidrológicas: relacionadas con la disponibilidad de agua, distancias a cauces principales (con agua todo el año).
2. Resolución espacial: la resolución de las capas se ha establecido en 50 x 50 m por píxel.
3. Sistema de referencia (SRC): dado que el alcance espacial se ha limitado en todos los casos, al menos, al área geográfica de Navarra, todas las capas de información han sido obtenidas en el sistema de coordenadas ETRS89 UTM Zona 30N.
4. Alcance espacial: todas las capas estarán disponibles para una escala regional (Navarra), y ocasionalmente a escala nacional (Península Ibérica). El *bounding box* (delimitación de la envolvente geográfica) que abarcan las capas a nivel de Navarra (en ETRS89 UTM 30T) es el siguiente:



5. Alcance temporal: fecha de los datos actuales de las capas, tanto climáticas como el resto.

A continuación se enumeran las capas de información desarrolladas, ordenadas por tipología:

Climáticas:

- 1) Temperatura media anual (BIO1)
- 2) Intervalo Diurno Promedio (BIO2)
- 3) Isoterma (BIO2/BIO7) (BIO3)
- 4) Temperatura Estacionalidad (DE*100).(BIO4)
- 5) Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)
- 6) Temperatura mínima del mes más frío (BIO6)
- 7) Temperatura Rango anual (BIO5-BIO6) (BIO7)
- 8) Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)
- 9) Temperatura media del trimestre más seco (BIO9)
- 10) Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)
- 11) Temperatura media del trimestre más frío (BIO11)
- 12) Precipitación anual (BIO12)
- 13) Precipitación del mes más húmedo (BIO13)
- 14) Precipitación del mes más seco (BIO14)
- 15) Precipitación estacionalidad (coef. variación) (BIO15)
- 16) Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)
- 17) Precipitación de trimestre más seco (BIO17)
- 18) Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)
- 19) Precipitación del trimestre más frío (BIO19)

Edáficas:

- 20) Edafología: suelo cálcico, silíceo, podzolizado, etc.

Elevación y derivadas:

- 21) Altitud
- 22) Pendiente
- 23) Orientación

Hidrológicas:

- 24) Distancias a cauces
- 25) Distancias a cauces principales
- 26) Distancias a cauces y cuerpos de agua

Cobertura e influencia antrópica:

- 27) Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA): vegetación hasta nivel de especie, e improductivos.
- 28) Distancia a colmenas
- 29) Influencia antrópica: distancia a núcleos urbanos
- 30) Distancia a vías de comunicación.
- 31) Distancias a núcleos urbanos y vías de comunicación

Las capas obtenidas durante el presente proyecto en formato ASCII que servirán como fuente de información para la obtención de modelos de distribución con Maxent se han almacenado en un directorio o Biblioteca de Capas para su utilización futura por parte del Departamento de Medio Ambiente, ordenadas a su vez en subdirectorios por temática.

La obtención de dichas capas se ha llevado a cabo mediante la combinación del software GIS específico:

- ArcGIS de ESRI (incluyendo ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox, versión 10.2.1.).
- Software open source QGIS versión 2.14.

Como fuente de datos para la mayoría de las capas se ha partido de datos disponibles a través del portal web de la IDE de Navarra, IDENA. Todas las capas descargadas desde IDENA están publicadas bajo los términos de la licencia *Creative Commons-Reconocimiento* (CC-by 3.0), y se trata de información geográfica propiedad del Gobierno de Navarra. Es importante destacar aquí que en Navarra se cuenta afortunadamente con una buena base cartográfica desarrollada por Gobierno de Navarra y accesible a través de la IDE, factor clave para la creación de los archivos ascii que han servido de base para la modelización en este trabajo.

También se ha contado con datos aportados por el propio Departamento, como es el caso por ejemplo de ubicaciones de colmenas. A continuación se describe el proceso de obtención de cada uno de los archivos ascii con información de parámetros ambientales.

1. Desarrollo de variables climáticas

Los datos de partida para la obtención de las capas climáticas han sido obtenidos a través del portal <http://www.worldclim.org/>. "Worldclim" es un conjunto de 19 capas de información climática a escala mundial (datos climáticos geo-representados en una malla) con una resolución espacial máxima cercana a 1km² (30 segundos). Estos datos pueden ser usados para representar en el mapa y para el modelado espacial. Fuente de datos: "Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. *Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology*".

Estos datos fueron publicados el 1 de junio de 2016, y no está permitida su redistribución.

Las variables climáticas se derivan de la temperatura y precipitación mensuales, y son los 19 parámetros más utilizados habitualmente en la modelización de distribución de especies y estudios relacionados con la modelización ecológica. Estas variables representan las tendencias anuales (temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (ej: rango anual de temperatura y precipitación) y factores ambientales extremos o limitantes (ej: temperatura del mes más frío y más cálido, precipitación de los trimestres más húmedo y seco).

La versión 2 de las capas, actualmente disponible en la web mencionada, contempla datos medios mensuales del clima para los valores máximo y mínimo de temperatura y precipitación, desde el año 1970 al 2000. También están disponibles las capas de previsiones climáticas para el año 2050 y 2100.

Permite la descarga de las variables a distintas resoluciones espaciales, desde 30 segundos (aproximadamente 1 km²) a 10 minutos (aproximadamente 340 km²). Cada descarga consiste en un archivo "zip" que contiene 12 archivos GeoTiff (.tif), uno para cada mes del año.

Las 19 variables de información climática utilizadas en el presente proyecto son todas las abajo indicadas: Temperatura media anual (BIO1); Intervalo Diurno Promedio (BIO2); Isoterma (BIO2/BIO7) (BIO3); Temperatura Estacionalidad (DE*100) (BIO4); Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5); Temperatura mínima del mes más frío (BIO6); Temperatura Rango anual (BIO5-BIO6) (BIO7); Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8); Temperatura media del trimestre más seco (BIO9); Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10); Temperatura media del trimestre más frío (BIO11); Precipitación

anual (BIO12); Precipitación del mes más húmedo (BIO13); Precipitación del mes más seco (BIO14); Precipitación estacionalidad (coef. variación) (BIO15); Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16); Precipitación de trimestre más seco (BIO17); Precipitación del trimestre más cálido (BIO18); Precipitación del trimestre más frío (BIO19).

Para el presente proyecto se han tomado las capas correspondientes a datos climáticos ya registrados, y que han sido aportadas por el Departamento de Gobierno de Navarra en la persona de Eduardo De la Cruz.

Las capas abarcan la extensión correspondiente a la región de Navarra con un tamaño de celda de 786 x 786 m. Con el fin de adaptar las 19 capas a las condiciones deseadas establecidas para el proyecto, según la delimitación geográfica y el tamaño de celda arriba indicados, se procedió a procesarlas en ArcGis mediante la consola de Python para automatizar los procesos de cambio de extensión y remuestreo de las capas.

Para ello se desarrolló un script que actuaba en 2 pasos. El primero para tomar los archivos de una carpeta de origen, remuestrearlos a un tamaño de celda de 50 x 50 m y guardar el archivo en otra carpeta en formato *.tif; el segundo para transformar esos archivos raster en formato *.asc, a la extensión del área geográfica que interesaba.

```
Python
>>> import arcpy
... from arcpy import env
... env.workspace = "Y:/Datos_01/04_Shapes_creadas/BIOS_50m/BIOS_Nafarroa_ascii786"
... import os
... from os import listdir
... path = "Y:/Datos_01/04_Shapes_creadas/BIOS_50m/BIOS_Nafarroa_ascii786"
... pathResultados = "Y:/Datos_01/04_Shapes_creadas/BIOS_50m/resultados_Tifs"
... contenidos = os.listdir(path)
... print contenidos
... lista = len(contenidos)
... for i in range(0,lista):
...     arcpy.env.extent = arcpy.Extent(4796625.0, 685550.0, 4638125.0, 539350.0)
...     #env.workspace = "Y:/Datos_01/resultados"
...     nombreSalida = "Y:/Datos_01/04_Shapes_creadas/BIOS_50m/resultados_Tifs/"+contenidos[i]+"_bioNavarra_50m_"+str(i+1)
...     +".tif"
...     arcpy.env.outputCoordinateSystem = arcpy.SpatialReference("ETRS 1989 UTM Zone 30N")
...     archivoSalida = arcpy.Resample_management(contenidos[i], nombreSalida, "50", "NEAREST")

>>> import arcpy
... from arcpy import env
... env.workspace = "Y:/Datos_01/04_Shapes_creadas/BIOS_50m/Tifs_Navarra50m"
... import os
... from os import listdir
... pathTifs = "Y:/Datos_01/04_Shapes_creadas/BIOS_50m/Tifs_Navarra50m"
... contenidosTifs = os.listdir(pathTifs)
... print contenidosTifs
... lista = len(contenidosTifs)
... for i in range(0,lista):
...     arcpy.env.extent = arcpy.Extent(539350.0, 4638125.0, 685550.0, 4796625.0)
...     arcpy.env.outputCoordinateSystem = arcpy.SpatialReference("ETRS 1989 UTM Zone 30N")
...     nombreAsciSalida = "Y:/Datos_01/04_Shapes_creadas/BIOS_50m/BIOS_Navarra_ASCII50m/"+contenidosTifs[i]+"_Asci_"+str
... (i+1)+".asc"
...     arcpy.RasterToASCII_conversion(contenidosTifs[i], nombreAsciSalida)
```

El remuestreo a 50 x 50 m no aporta mayor grado de información, ya que la resolución de partida es de 786 x 786 m, pero es necesario para que todas las capas de información tengan la misma resolución.

De este modo se obtuvieron las 19 capas de información climática ajustadas en extensión y resolución espacial.

2. Desarrollo de variables edáficas

Los factores edáficos, referidos al suelo, son los condicionantes de un organismo y tienen su origen en las características fisicoquímicas del sustrato, como la estructura física (profundidad, inclinación y granulometría) y la composición química (agua, gases, sustancias orgánicas y sales minerales). Así por ejemplo, las larvas de muchos insectos no pueden vivir en suelos muy pedregosos. Los organismos excavadores (insectos, topos, topillos, etc), que construyen galerías para alojar a la prole y almacenar alimentos, requieren suelos blandos.

Los árboles y arbustos de cierto porte sólo se pueden enraizar en suelos de gran espesor. La disponibilidad de nutrientes influye directamente en la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los vegetales. Las plantas adaptadas a medios pobres en nutrientes muestran una tasa de crecimiento reducida.

La existencia de sales minerales puede resultar un factor imprescindible o limitante. La fauna también tiene una respuesta condicionada a la composición química del sustrato, como los gasterópodos terrestres, que no existen o son muy escasos y pequeños en los suelos pobres en calcio. Es por ello que se ha considerado incorporar una capa de tipos de suelo que puede aportar comportamientos diferenciales a la hora de estudiar la distribución geográfica de las especies invasoras, bien sean vegetales o animales.

Dicho esto, indicar que existen diferentes criterios de clasificación de suelos a nivel edafológico.

Los suelos varían considerablemente según el grado de diferenciación de sus horizontes, que pueden definirse como capas dentro del perfil de suelo que tiene las mismas características edafológicas (color, estructura, textura, etc.) y que se presentan de modo paralelo a la superficie del terreno.

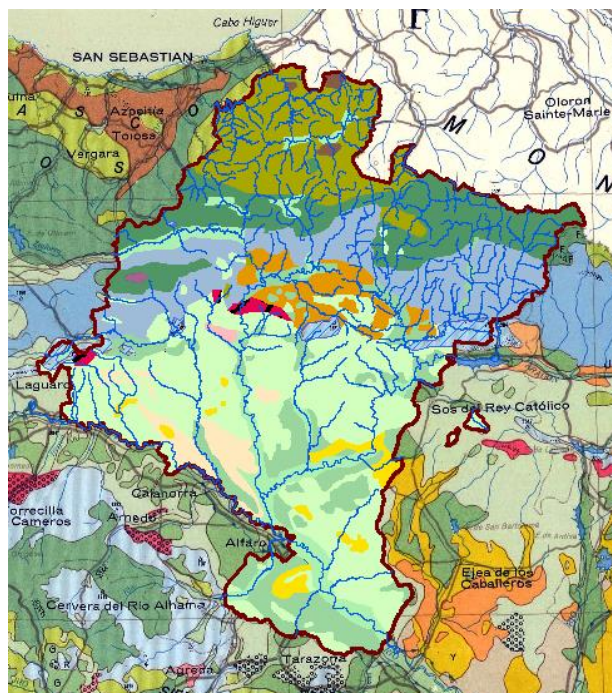
Hay dos tipos de horizontes: los horizontes genéticos y los horizontes de diagnóstico cuya diferencia radica en que los horizontes genéticos sirven para describir el perfil del suelo mediante una clasificación cómoda pero subjetiva; mientras que los horizontes de diagnóstico permiten clasificar los suelos en base a propiedades medibles del suelo, están rigurosamente definidos y requieren análisis del suelo en laboratorio.

Los dos horizontes que expresan un juicio cualitativo acerca de los tipos de cambio que se intuye han tenido lugar en la génesis del suelo reciben el nombre de horizontes genéticos, mientras que los horizontes de diagnóstico por el contrario son definidos por características cuantitativas y cualitativas utilizadas para la diferenciación entre taxas o clases de un sistema de clasificación de suelos.

Los horizontes genéticos no son equivalentes a los horizontes de diagnóstico de *Soil Taxonomy*, y las transformaciones implicadas por la designación de horizontes genéticos pueden no ser suficientes para reconocer un criterio de diagnóstico (*Horizontes genéticos del suelo*, Gisbert et al.).

En esta ocasión se ha partido de un mapa de suelos de España (Península y Baleares) elaborado por el Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología del C.S.I.C., en el año 1966. Si bien es cierto que se trata de un mapa de cierta antigüedad, recoge información edafológica para toda Navarra y por tanto nos va a permitir obtener una capa completa para toda la región.

Además, las características edafológicas del suelo han podido experimentar cierta evolución desde entonces en zonas concretas, principalmente en áreas de mayor influencia antrópica, pero a grandes rasgos supone una información relativamente estable en el plazo de tiempo transcurrido desde la elaboración del mapa.

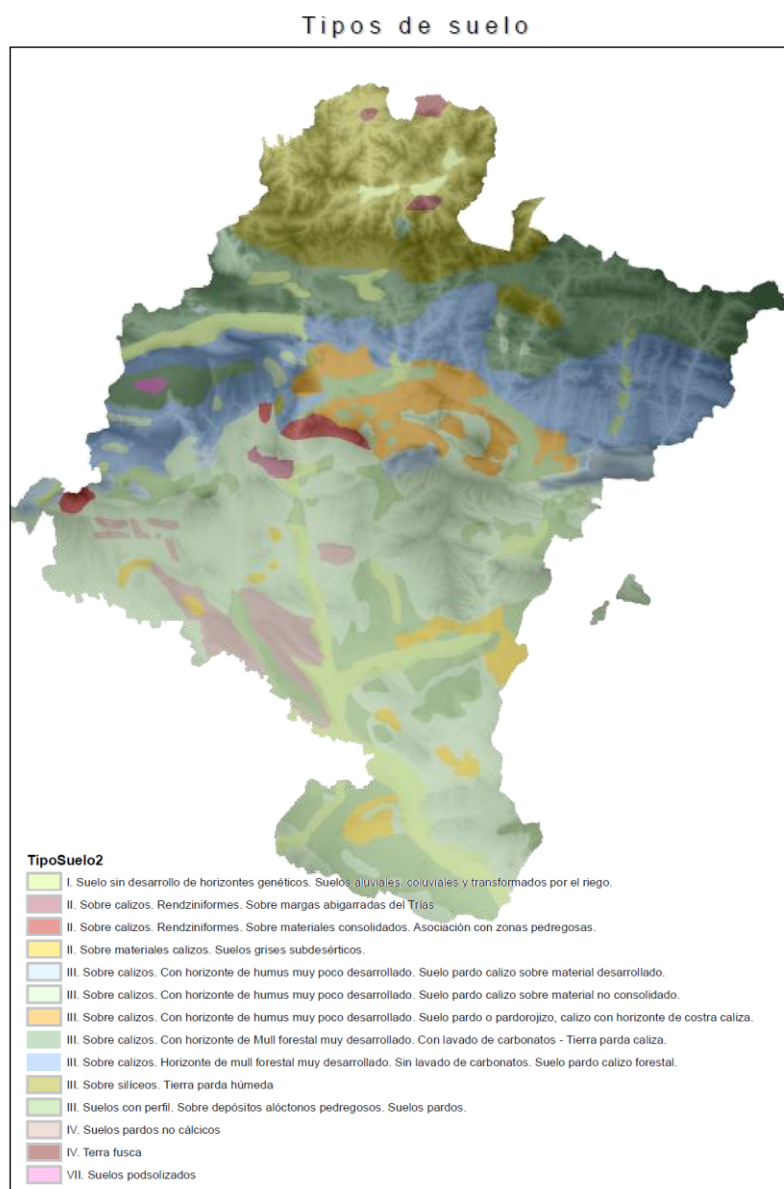


Para obtener la capa de suelos en ArcGis es necesario recurrir a la Edición de polígonos. A partir de la imagen de suelos, que previamente ha sido georreferenciada mediante la herramienta Georeferenciador de

ArcGis, se edita el polígono de Navarra cortando cada entidad por de tipo de suelo. Finalmente se obtiene una capa de tipos de suelo que incluye los siguientes grupos principales de horizontes:

Los suelos presentes en Navarra corresponden a 7 tipos principales de horizontes genéticos:

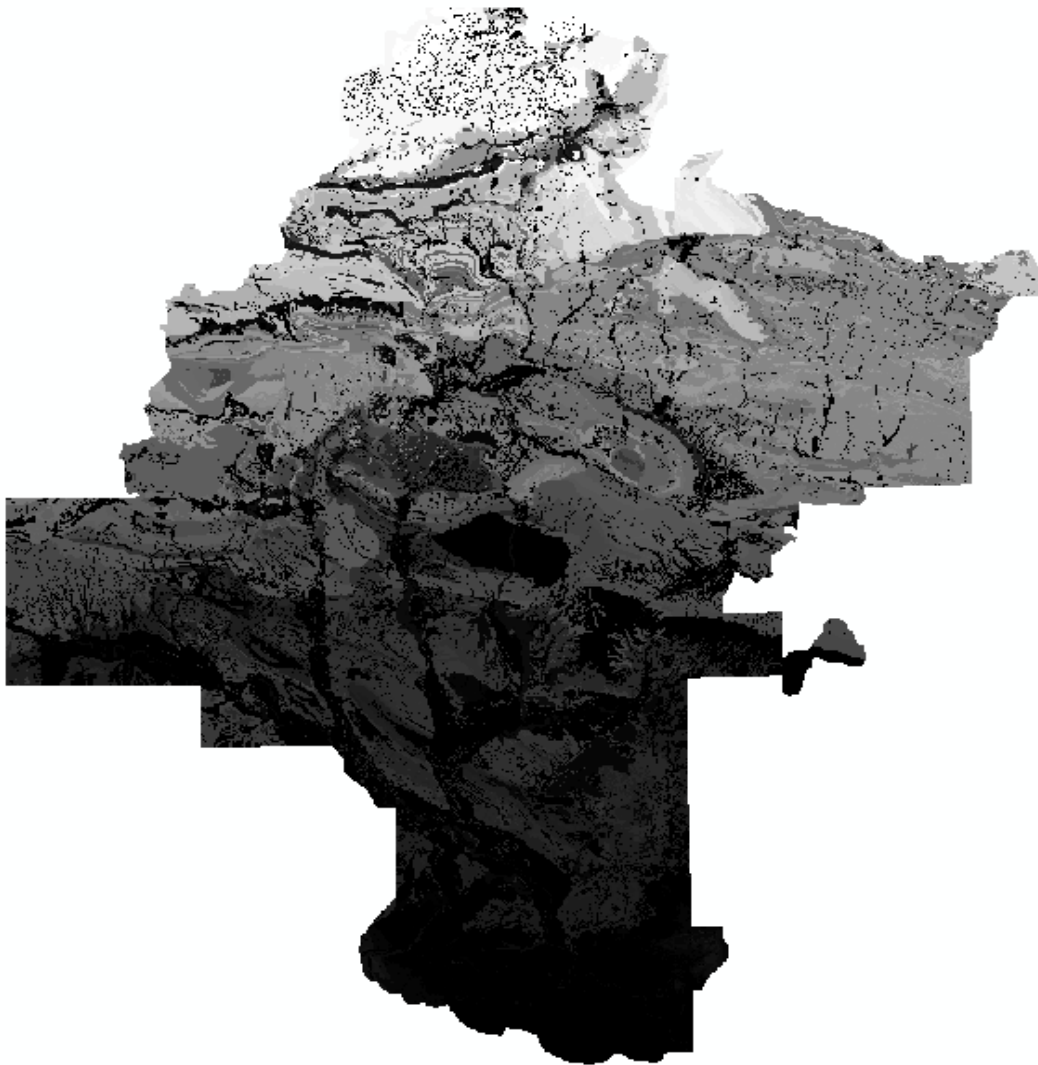
- I. Suelos sin desarrollo de horizontes genéticos
- II. Suelos con perfil poco diferenciado A/C
- III. Suelos con perfil A/(B)/C
- IV. Suelos con perfil A/B/C
- V. Vertisuelos
- VI.
- VII. Suelos podzolizados



Capa de litología

También se obtiene la capa de tipos de suelo a partir de la capa de unidades litológicas a escala 1:25.000 disponible a través de IDENA. Se transforma esta capa en formato ráster y posteriormente Ascii. No obstante, esta capa no se ha utilizado durante la modelización por contener una clasificación excesivamente elevada en cuanto a tipos litológicos diferentes, sino que se ha utilizado la capa de tipos de suelo descrita anteriormente.

Litología

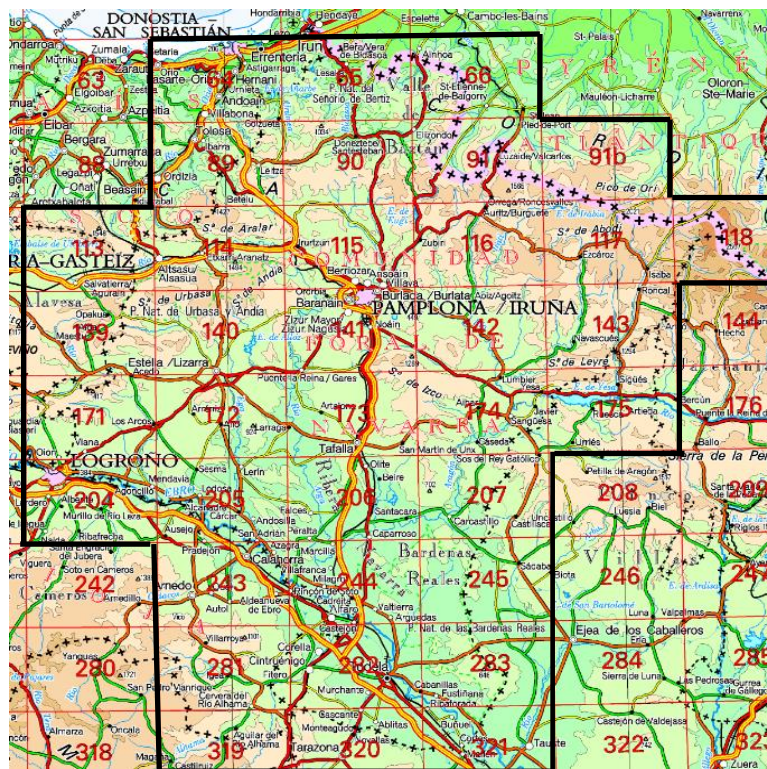


3. Desarrollo de las variables topográficas

El factor altitud influye sobre la humedad y la luz, y actúa sobre todo provocando el descenso de las temperaturas medias. Conforme asciende la altitud en un territorio, la temperatura media anual decrece a razón de 0,5 – 1,0 °C cada 100 metros. La adaptación de los organismos a este factor es similar a la de la temperatura. Así, la salida de las hojas y la floración de los árboles en primavera avanza pendiente arriba por la ladera de la montaña, mientras que la aparición de la coloración otoñal progresa de arriba abajo en otoño.

Durante el proyecto se han desarrollado tres capas de información derivadas de la topografía: altitud, orientación y pendiente.

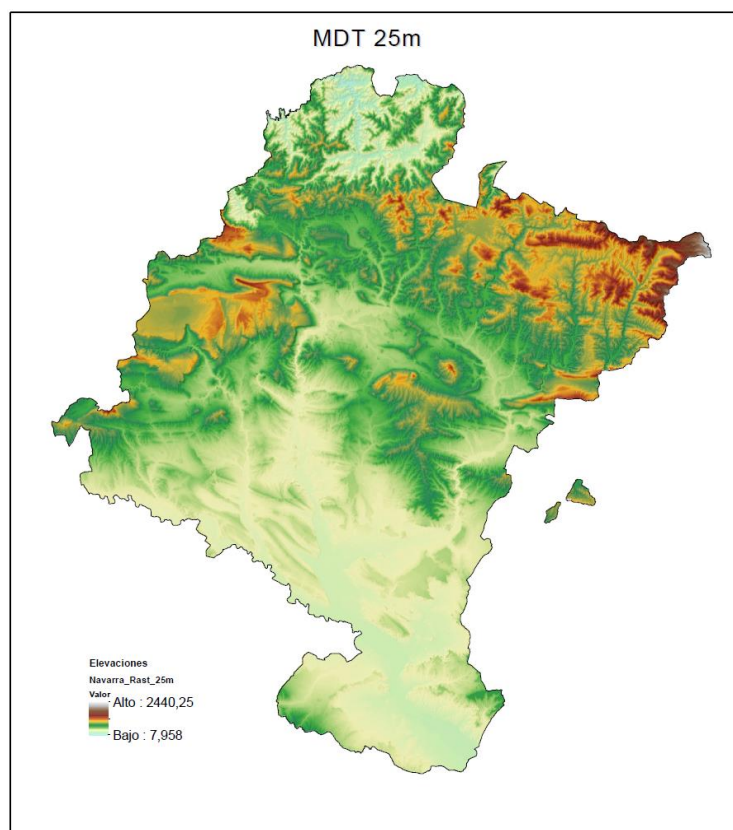
Para su obtención se ha partido de los Modelos Digitales del Terreno descargados de la web de descargas del Instituto Geográfico Nacional, para una resolución espacial de 25 x 25 m. Concretamente se descargaron las 37 hojas que abarcan la totalidad de Navarra.



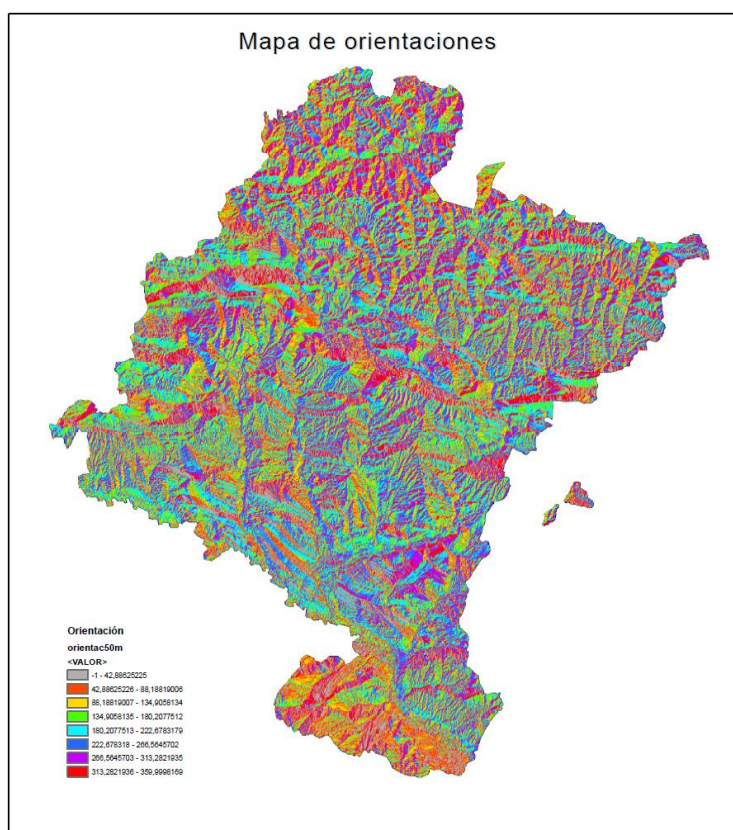
A partir de las hojas se creó un único Dataset conteniendo todos los archivos ráster, a partir del cuál se obtuvieron en formato Ascii las capas de altitud, orientación y pendiente, utilizando Arcgis. Nuevamente se remuestreó el tamaño de celda a 50 m por pixel.

ArcGis permite la obtención de las capas de Orientación y Pendiente a partir de la de altitud ya creada, por lo que se obtuvieron también estas dos capas.

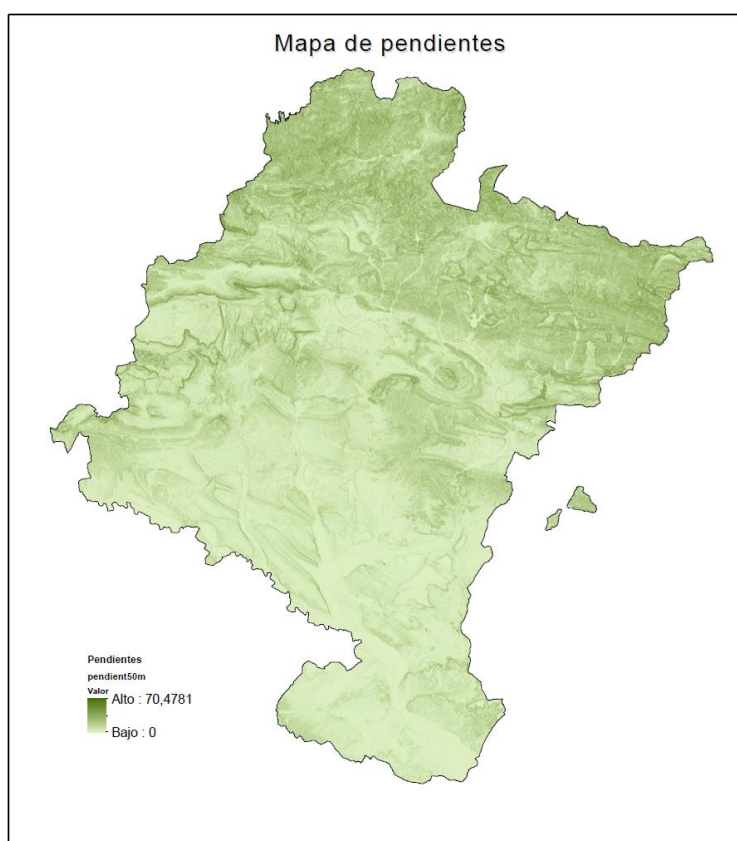
Altitud:



Orientación:



Pendientes:



4. Desarrollo de las variables hidrológicas

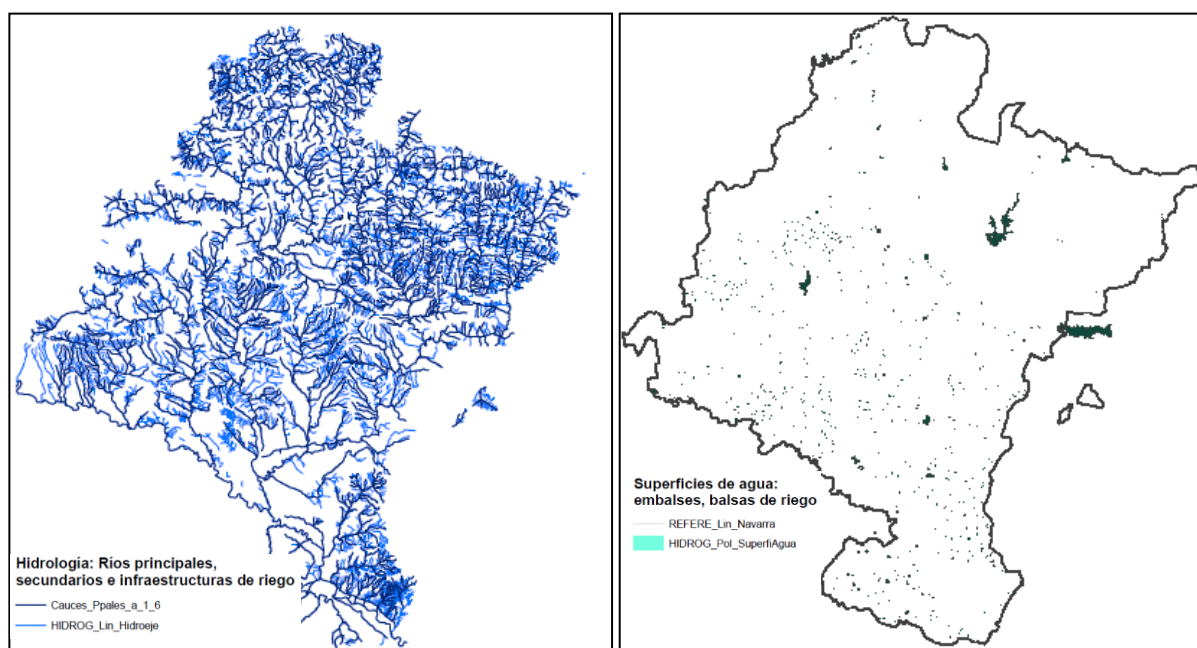
Animales y plantas tienen necesidad de agua en mayor o menor medida, y se ven afectados por la disponibilidad de este recurso y por la humedad, por lo que es este un importante factor limitante de la distribución geográfica de las especies.

El factor de la disponibilidad hídrica cobra aún más importancia en el caso de las EEl, ya que, al tratarse de especies que han aparecido de manera fortuita, se instalarán inicialmente en la zona del territorio que les es más favorable, aquella en la que tengan mayor disponibilidad de recursos (agua, alimento, refugio). A medida que se van asentando en la zona, podrán adaptarse a terrenos menos idóneos, o en este caso, con menos disponibilidad de agua.

Se han desarrollado en el presente proyecto tres capas en formato Ascii relacionadas con la disponibilidad hídrica en el medio, información materializada en cada capa como la distancia euclídea desde cada punto del terreno (celda de 50m) al cauce y/o cuerpo de agua más próximo.

Desde el visor de la IDE de Navarra (IDENA) se descargó la capa de cauces, un archivo *shape* de polilíneas (*HIDROG_Lin_Hidroreje.shp*) que contiene la localización geográfica de los ríos principales, sus afluentes y cursos menores, así como infraestructuras de riego como canales o acequias de la Comunidad Foral.

También se obtiene de la misma fuente el archivo *shape* de polígonos que recoge la información de las superficies de agua (*HIDROG_Pol_SuperfiAgua.shp*): embalses, balsas naturales de tamaño superior a una Hectárea e infraestructuras de riego (canales y acequias).



La capa de cauces contiene información de 11.680 entidades correspondientes a tramos de corrientes, clasificadas en 7 tipos en función del caudal y las características de la corriente: Río principal (Tipo 1); Afluente principal (Tipo 2); Afluente secundario (Tipo 3); Afluente terciario (Tipo 4); Canales y acequias (Tipo 5); Canales y acequia subterráneos (Tipo 6); Otras corrientes (Tipo 7).

Por su parte, la capa de superficies de agua contiene 602 polígonos correspondientes a balsas, embalses, pantanos, lagunas y balsas de riego.

A partir de estos dos *shapes*, se obtienen las tres capas siguientes:

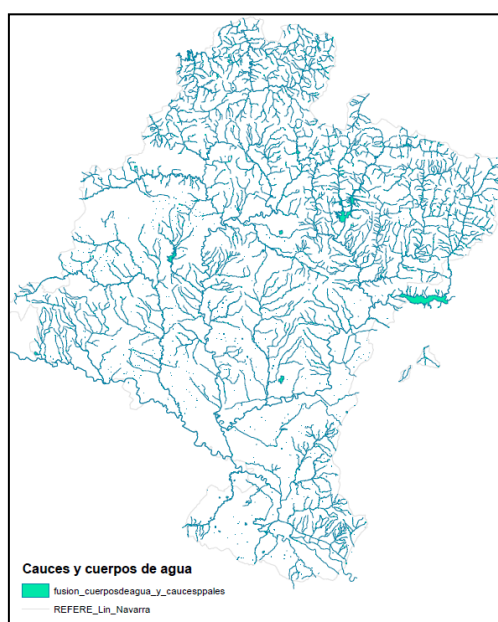
1. Distancia a todos los cauces: representa la distancia de cada celda al cauce más cercano.
2. Distancia a los cauces principales (tipos 1 a 4): representa la distancia de cada celda al cauce principal más cercano.
3. Distancia a cauces principales y cuerpos de agua: representa la distancia de cada celda a un cauce principal o a una superficie de agua.

Las capas de distancia a todos los cauces y a los cauces principales se calculan directamente mediante la herramienta *Distancia Euclídea* de ArcGis, la cuál requiere una serie de entidades de entrada vectoriales y da como resultado un archivo raster cuyos valores de celda corresponden a las distancias al cauce más cercano.

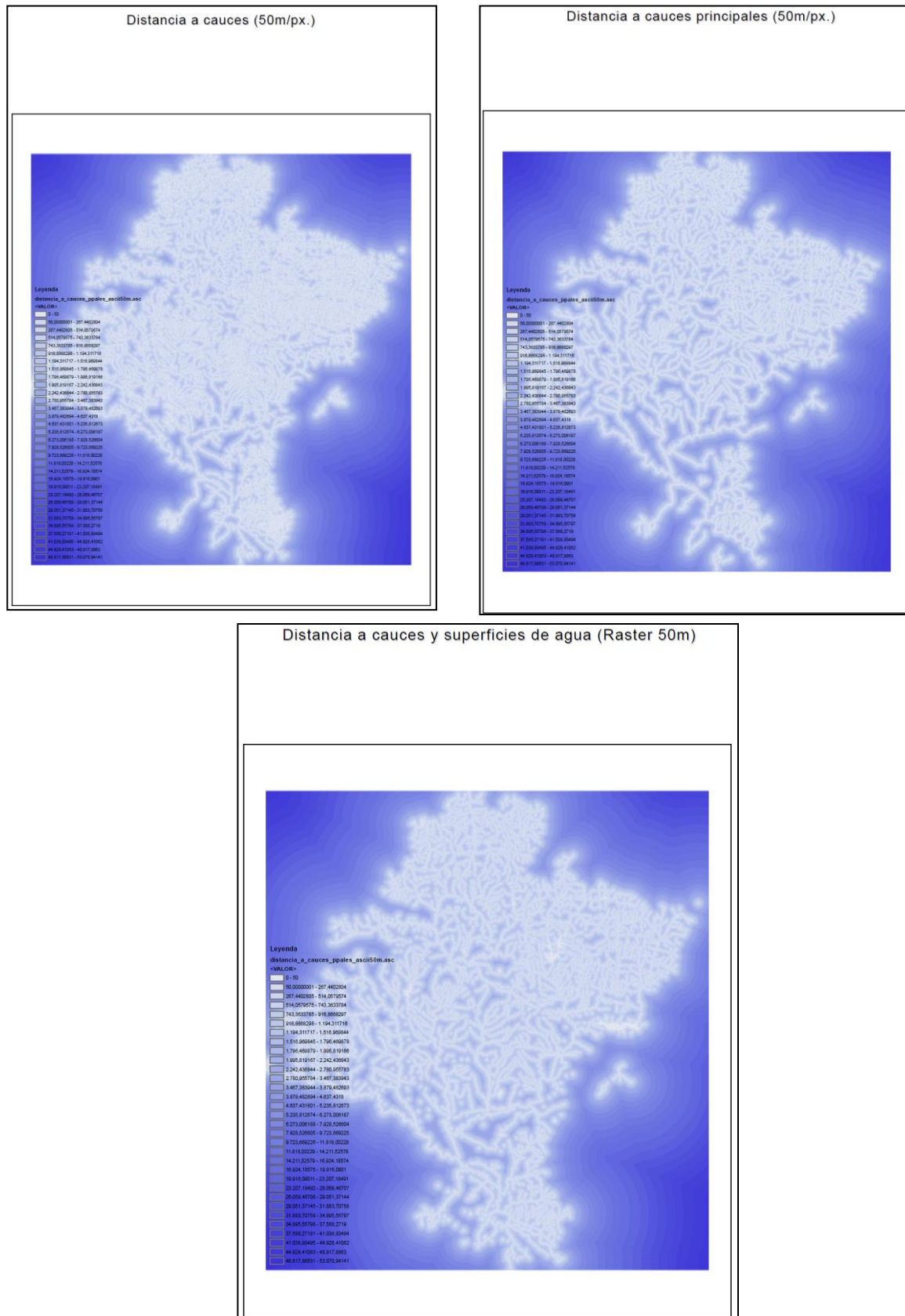
La tercera capa sin embargo requiere la fusión de capas de distinto tipo, líneas y polígonos. Para facilitar esta unión en ArcGis, se asigna a cada entidad de la capa de Cauces una zona de influencia o *buffer* de varios metros según la tipología de cauce. Para ello se crea previamente un nuevo campo en el que se asignan los valores correspondientes a cada tipo de cauce, que viene indicado en el campo "CTIPO". El valor asignado como *buffer* será de 10, 8 y 6 metros para los tipos río principal, afluentes principal y secundario, y afluente terciario respectivamente.

FID	Shape	FE	C	CAUCE	CTRAMO	C	F	E	F	T	N	L	CTIPO	TIPO	GEOM_LONG	BEGINLIFE	Buffer
0	Polilinea	30	5	Iruerreketa	9	1	1	1	1	1	1	2	4	Afluente terciario	3672,47	12/02/2004	6
1	Polilinea	30	2		12	1	1	1	1	1	1	2	3	Afluente secundario	2232,01	12/02/2004	6
2	Polilinea	30	9	Azkenerreka	14	1	1	1	2	2	1	2	4	Afluente terciario	1828,2	12/02/2004	6
3	Polilinea	30	2		22	1	1	1	3	3	1	2	4	Afluente terciario	2310	12/02/2004	6
4	Polilinea	30	2		37	1	1	1	6	6	1	2	4	Afluente terciario	5240,68	12/02/2004	6
5	Polilinea	30	7	Regata de Morate	40	1	1	1	6	6	1	2	4	Afluente terciario	1915,31	12/02/2004	6
6	Polilinea	30	2		42	1	1	1	6	6	1	2	4	Afluente terciario	1134,7	12/02/2004	6
7	Polilinea	30	9	Aundia Erreka	49	1	1	1	7	8	1	2	4	Afluente terciario	1610,05	12/02/2004	6
8	Polilinea	30	7	Regata de Logibeltz	55	1	1	1	8	9	1	2	4	Afluente terciario	1500,48	12/02/2004	6
9	Polilinea	30	2		63	1	1	1	9	1	1	2	4	Afluente terciario	1341,13	12/02/2004	6
10	Polilinea	30	2		78	1	1	1	1	1	1	2	4	Afluente terciario	2677,48	12/02/2004	6
11	Polilinea	30	2		79	1	1	1	1	1	1	2	4	Afluente terciario	3246,13	12/02/2004	6
12	Polilinea	30	2		81	1	1	1	1	1	1	2	4	Afluente terciario	1286,19	12/02/2004	6
13	Polilinea	30	2		97	1	1	1	1	1	1	2	4	Afluente terciario	1731,64	12/02/2004	6
14	Polilinea	30	8	Sorogaingo Erreka	7082	1	1	1	2	4	1	2	1	Río principal	701,64	12/02/2004	10
15	Polilinea	30	4	Beraskoingo Errek	3	1	1	1	1	8	1	2	4	Afluente terciario	1597,26	12/02/2004	6
16	Polilinea	30	4	Beraskoingo Errek	3	1	1	1	8	1	1	2	4	Afluente terciario	1385,48	12/02/2004	6
17	Polilinea	30	8	Sorogaingo Erreka	7082	1	1	1	1	6	1	2	1	Río principal	765,7	12/02/2004	10
18	Polilinea	30	8	Sorogaingo Erreka	7082	1	1	1	6	1	1	2	1	Río principal	2066,91	12/02/2004	10
19	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	1	2	1	2	2	Afluente principal	721,17	12/02/2004	8
20	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	2	2	1	2	2	Afluente principal	3041,43	12/02/2004	8
21	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	1	1	1	2	2	Afluente principal	598,67	12/02/2004	8
22	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	1	1	1	2	2	Afluente principal	901,64	12/02/2004	8
23	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	5	1	1	2	2	Afluente principal	111,18	12/02/2004	8
24	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	1	1	1	2	2	Afluente principal	103,92	12/02/2004	8
25	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	2	1	1	2	2	Afluente principal	95,52	12/02/2004	8
26	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	1	5	1	2	2	Afluente principal	1281,23	12/02/2004	8
27	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	1	1	1	2	2	Afluente principal	1166,33	12/02/2004	8
28	Polilinea	30	9	Xurigoa Ugaldea	7	1	1	1	1	1	1	2	2	Afluente principal	789,65	12/02/2004	8
29	Polilinea	30	8	Sorogaingo Erreka	7082	1	1	1	1	4	1	2	1	Río principal	1213,23	12/02/2004	10
30	Polilinea	30	8	Sorogaingo Erreka	7082	1	1	1	1	1	1	2	1	Río principal	45	12/02/2004	10
31	Polilinea	30	6	Mendiaundiko Errek	13	1	1	1	1	1	1	2	3	Afluente secundario	583,09	12/02/2004	6

Como resultado del *buffer* aplicado a los cauces si obtiene una capa de polígonos, que sí se va a poder unir a la de cuerpos de agua. Una vez unidas ambas capas, se vuelve a aplicar la herramienta de Distancia Euclídea para obtener el raster de distancias.



Como resultado se obtienen las 3 capas de distancia descritas.



5. Desarrollo de las variables relacionadas con la cobertura del suelo

En esta temática se engloba el desarrollo de la capa de coberturas del suelo, que incluye la vegetación, cuerpos de agua y terrenos improductivos. Esta capa es considerada de gran influencia para la distribución de la gran mayoría de especies exóticas invasoras, tanto vegetales como animales, que encuentran en los distintos ecosistemas y áreas de vegetación su hábitat y su fuente de alimento.

Para ello se ha partido de los 7 archivos *shape* de que está compuesto el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) de Navarra (OCUPAC_Pol_MCA_VE2012), descargadas desde el portal de la IDE de Navarra IDENA. Se trata de una capa que se viene realizando desde 1999 con actualizaciones anuales, siendo la más reciente disponible y la que se ha utilizado para este estudio la de 2012. Es un mapa de coberturas del territorio, forestales, agrícolas e improductivos, aunque también se define el uso del suelo minuciosamente en las áreas urbanas.

Como se ha comentado, la capa está compuesta de 7 archivos para facilitar su manejo, cada uno de los cuales corresponde a una zona del territorio: I_Noroccidental (13.040 entidades); II_Pirineos (13.218 entidades); III_Cuenca_de_Pamplona (5.856 entidades); IV_Tierra_Estella (8.892 entidades); V_Navarra_Media (8.368 entidades); VI_Ribera_Alta (7.699 entidades); VII_Ribera_Baja (8.537 entidades).

En total, las 7 capas recogen un total de 65.610 polígonos. La clasificación más general que incluye la capa consta de 9 categorías: 8 tipos de vegetación (coníferas, coníferas/frondosas, cultivos herbáceos secano, cultivos herbáceos secano regadío, cultivos leñosos secano, cultivos leñosos regadío, forestal no arbolado, frondosas) e improductivo. A su vez, se recogen subcategorías para cada tipo anterior, llegando hasta nivel de especie, y a su vez, divididas estas en categorías en función de la proporción con respecto a otras especies presentes en el polígono, y el estado vegetativo de las especies en cuestión.

Para la construcción de la capa definitiva de cultivos y aprovechamientos se ha tenido en cuenta una clasificación en 177 categorías que incluye la especie mayoritaria para los polígonos de vegetación, y la descripción para los terrenos improductivos, según el campo "COBERTURAP", tal y como se muestra en la siguiente tabla.

C	CGRUPO	GRUPO	COBERTURAP	MOSAICO1
0	5	Forestal no arbolado	Pastizal	Pastizal(100%)
0	9	Improductivo	DISCONTINUO	ZONA VERDE ARTIFICIAL Y ARBOLADO URBAN
0	9	Improductivo	DISCONTINUO	ZONA VERDE ARTIFICIAL Y ARBOLADO URBAN
0	2	Cultivos herbáceos secano	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Olivo	Olivo(100%)
0	9	Improductivo	ZONAS DE EXTRACCI	ZONAS DE EXTRACCIÓN O VERTIDO(100%)
0	9	Improductivo	AGRICOLA-GANADE	SUELO_NO_EDIFICADO(80%) y EdificacP4n(15
0	4	Cultivos leñosos secano re	Viña	Viña(100%)
0	9	Improductivo	RED VIARIA	VIAL, APARCAMIENTO O ZONA PEATONAL SIN
0	9	Improductivo	RED VIARIA	VIAL, APARCAMIENTO O ZONA PEATONAL SIN
0	4	Cultivos leñosos secano re	Olivo	Olivo(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Olivo	Olivo(100%)
3	6	Coníferas	Pino carrasco (Pinus	Pino carrasco en estado monte bravo (100%)
0	5	Forestal no arbolado	Matorral mediterráneo	Matorral mediterráneo(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Viña	Viña(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Viña	Viña(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Viña	Viña(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Viña	Viña(100%)
0	1	Cultivos herbáceos secano	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Viña	Viña(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Almendro	Almendro(100%)
0	4	Cultivos leñosos secano re	Nogal	Nogal(100%)
0	9	Improductivo	SOLAR	SUELO_NO_EDIFICADO(70%) y OTRAS_CONST
0	2	Cultivos herbáceos secano	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos(100%)
0	2	Cultivos herbáceos secano	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos(100%)
0	5	Forestal no arbolado	TERRENOS CON ESC	Suelo desnudo(70%) y Matorral mediterráneo(30
0	3	Cultivos leñosos secano	Almendro	Almendro(100%)

Con el fin de obtener la capa de MCA en formato *ascii*, primeramente se fusionan las 7 capas en un solo archivo.

Se crea en la tabla de atributos un nuevo campo de texto llamado “TIPOSUPERF”, que contendrá un nuevo nombre para cada polígono, según se describe a continuación.

Seguidamente se seleccionan los polígonos correspondientes a superficies de agua de la capa mediante la herramienta “Selección por localización”, para lo cual se solapa con la capa de superficies de agua descargada durante la obtención de las capas de hidrología. A todos estos polígonos seleccionados se les asigna un nombre común (Agua – Balsa, embalses, laguna, canal) de identificación en el nuevo campo creado para ello.

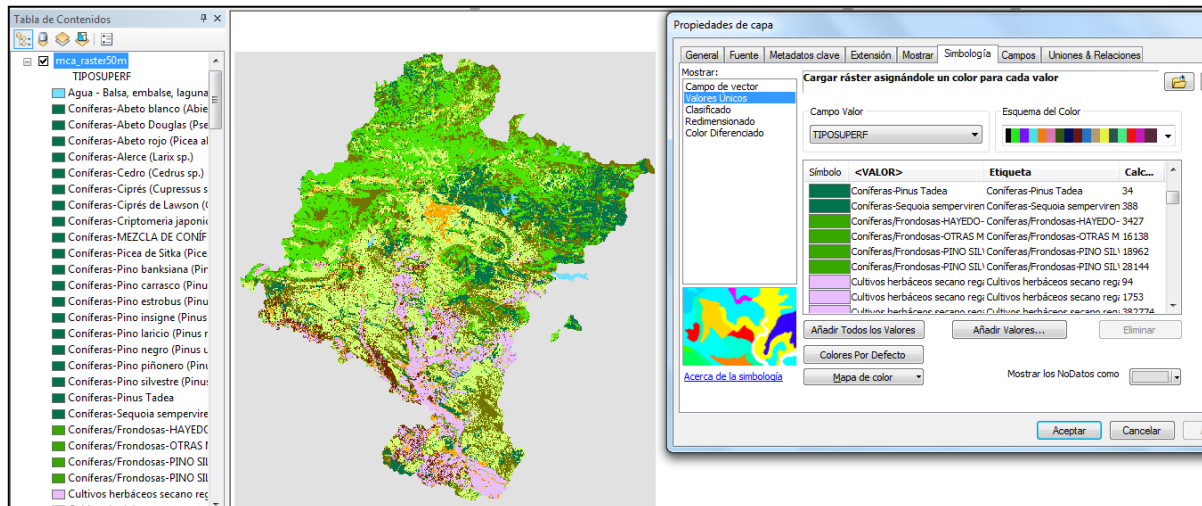
Al resto de polígonos de la capa se les asigna también un nuevo nombre en el campo creado, mediante la herramienta “Calculadora de campo”. El nuevo nombre asignado se crea a partir de la información contenida en otros dos campos: [GRUPO] + [COBERTURAP].

A partir de este campo que contiene los nuevos nombres, se disuelve mediante la herramienta “Dissolver”, con lo que se obtiene un nuevo archivo con un polígono para cada una de las 177 categorías del MCA.

Rowid	VALUE	COUNT	TIPOSUPERF
90	91	110520	Forestal no arbolado-PASTIZAL MATORRAL
87	88	99345	Forestal no arbolado-Pastizal
15	16	97961	Coníferas-Pino laricio (<i>Pinus nigra</i>)
118	119	73483	Frondosas-OTRAS MEZCLAS DE FRONDOSAS
76	77	69724	Forestal no arbolado-Helechal (<i>Pteridium aquilinu*</i>)
82	83	59648	Forestal no arbolado-MATORRAL ARBOLADO
66	67	56293	Cultivos leñosos secano regadío-Viña
89	90	55623	Forestal no arbolado-Pastizal alta montaña
123	124	54922	Frondosas-Roble pedunculado (<i>Quercus robur</i>)
70	71	49662	Forestal no arbolado-Bojeral (<i>Buxus sempervirens</i>)
94	95	44427	Forestal no arbolado-TERRENOS CON ESCASA VEGETACI*
113	114	36801	Frondosas-HAYEDO-ROBLEDAL
73	74	36293	Forestal no arbolado-Coscojar (<i>Quercus coccifera</i>)
24	25	28144	Coníferas/Frondosas-PINO SILVESTRE-ROBLEDAL
120	121	25294	Frondosas-Quejigo (<i>Quercus faginea</i>)
71	72	25026	Forestal no arbolado-Brezal-Argomal
48	49	24767	Cultivos leñosos secano-Viña
148	149	22884	Improductivo-ENSANCHE
104	105	20846	Frondosas-CARRASCAL-ROBLEDAL
74	75	20182	Forestal no arbolado-Enebral (<i>Juniperus sp.</i>)
165	166	19622	Improductivo-RED VIARIA
69	70	19538	Forestal no arbolado-Afloramientos rocosos y roqu*
23	24	18962	Coníferas/Frondosas-PINO SILVESTRE-HAYEDO
122	123	18552	Frondosas-Roble americano (<i>Quercus rubra</i>)
0	1	18458	Agua - Balsa, embalse, laguna, canal
14	15	17088	Coníferas-Pino insignie (<i>Pinus radiata</i>)
61	62	16403	Cultivos leñosos secano regadío-Olivo

Se adapta la simbología de la capa de acuerdo con los grupos globales (9 categorías iniciales) para una mejor visualización de las entidades.

Finalmente, mediante la herramienta “Polygon to raster” se obtiene el archivo raster con la extensión establecida y el tamaño de celda de 50 m, con información para las 177 categorías descritas, a partir del cuál se obtiene como último paso el archivo *Ascii*.



MCA 2012 (Raster 50m)



6. Desarrollo de otras variables: influencia antrópica

Uno de los factores que ejerce mayor impacto sobre la distribución de las especies exóticas es la influencia antrópica. Las variables de tipo demográfico y de ocupación del espacio, como índices de población, accesibilidad, densidad o proximidad a vías de comunicación, son útiles como indicadores del grado de influencia antrópica.

En este caso, en el marco del proyecto se desarrollan dos capas con información relacionada con la influencia antrópica: *Distancia a núcleos urbanos y a redes de transporte*, más una capa exclusiva desarrollada para el estudio de avispon asiático, la de *Distancia a colmenas* que, si bien no es directamente indicativa de lo antropizado que está un ambiente, sí que tiene un origen antrópico puesto que las colmenas son ubicadas por los habitantes de un determinado territorio en base a su propio criterio.

1. Distancia (Euclídea) a colmenas

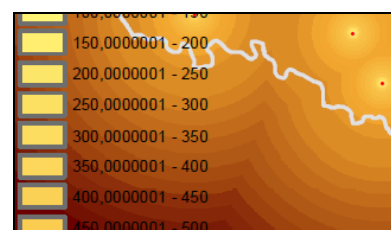
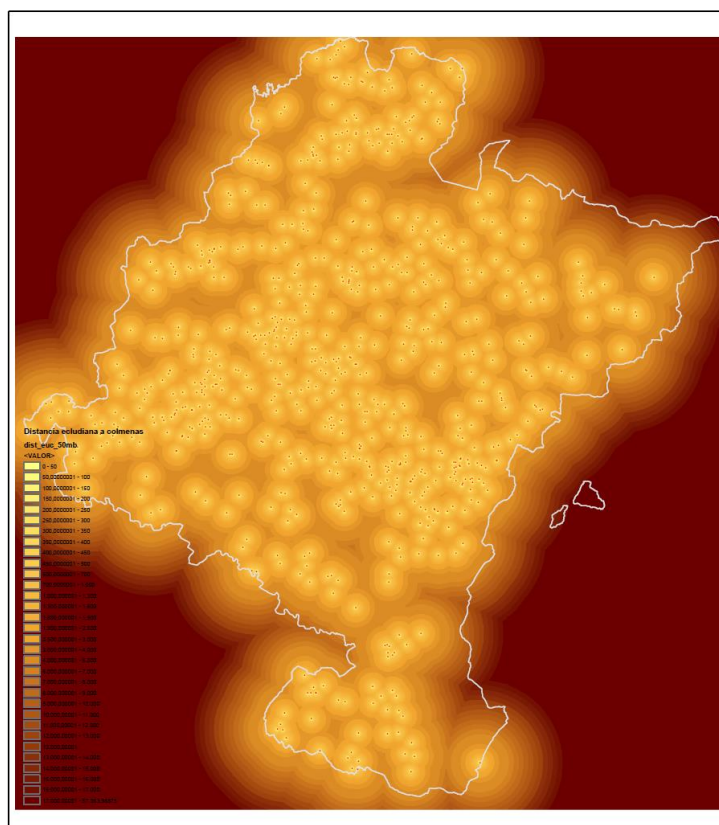
A partir las coordenadas X e Y de las ubicaciones de colmenas existentes en Navarra en 2016, se ha obtenido un archivo Ascii de distancias a la colmena más cercana. Como se ha comentado anteriormente, esta capa está específicamente desarrollada para el estudio del avispon asiático en el marco de este proyecto.

Para obtenerla se han utilizado los datos de ubicaciones de colmenares, que han sido aportados por el Departamento de Medioambiente de Gobierno de Navarra en formato Excel y con sistema de coordenadas ETRS89, UTM Zona 30N. En concreto se parte de localizaciones de colmenas, que en la mayoría de ocasiones no corresponden a una colmena sino a varios colmenares de un único apicultor, que ha proporcionado una ubicación única para todas sus colmenas si la distancia entre ellas no es significativa.

Los datos X e Y se cargan en ArcGis y mediante la herramienta "Display X Y Data" se crea un shape de puntos a partir del cual, aplicando la herramienta "Distancia Euclídea" se obtiene un raster de distancias de cada celda a la colmena más cercana, siendo una vez más de 50 m el tamaño de celda, para la extensión indicada en la pantalla "Entornos". Finalmente, personalizando la paleta de color se consigue la apariencia siguiente para la capa de distancia a colmenas.

A partir del raster creado, convertimos a Ascii para tener la capa en el formato que precisa MaxEnt.

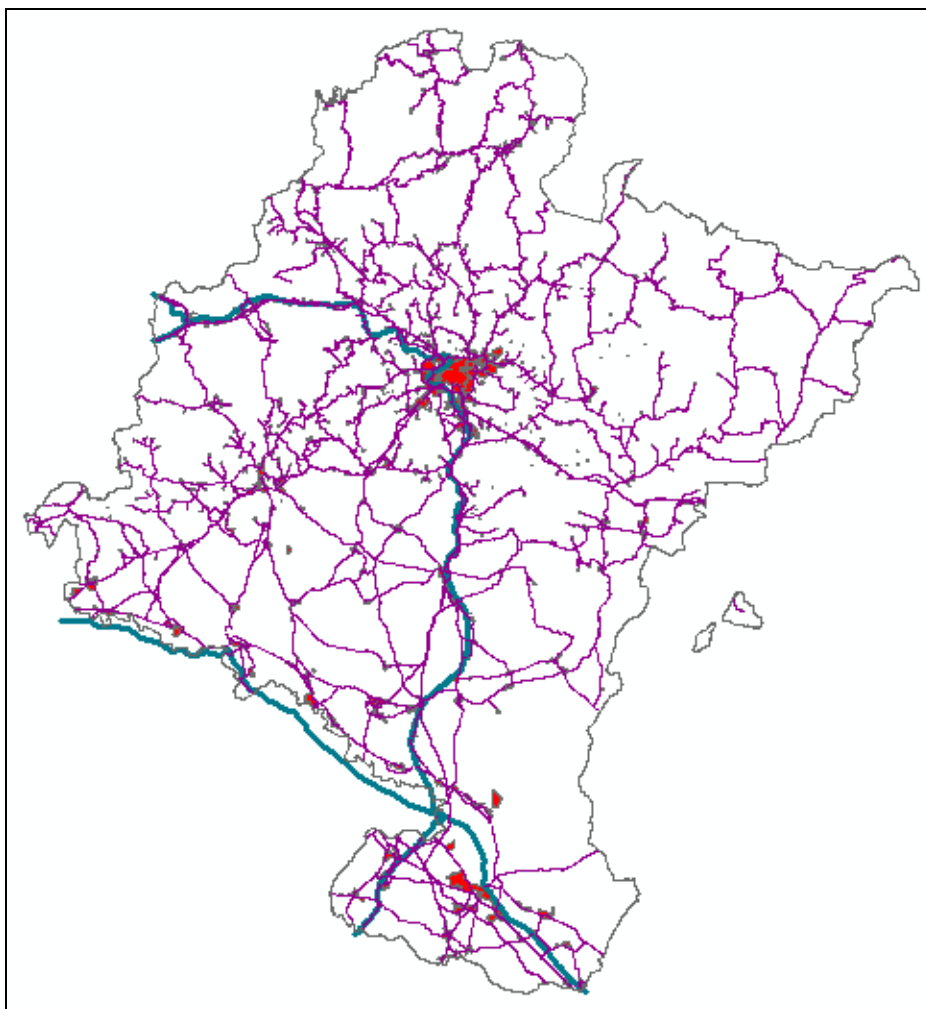
Distancia a colmenas (Raster 50m)



2. Distancia (Euclídea) a núcleos urbanos y redes de transporte

Como máximos representantes de la huella humana en el territorio están por una parte los núcleos urbanos e industriales, y por otro, las vías de transporte, que fraccionan el territorio en secciones infranqueables para la mayoría de las especies animales.

En este contexto, se ha obtenido una capa de distancias a núcleos urbanos y a vías de transporte, incluyendo carretera y ferrocarril.



Como datos de partida para la creación de esta capa, se descargan de IDENA las siguientes *shapes*: red de carreteras (INFRAE_Lin_CtraEje), red de ferrocarril (INFRAE_Lin_FFCCViaTraz) y núcleos urbanos (CATAST_Pol_CascoUrbano). Las tres capas no son del mismo tipo, ya que las dos primeras son polilíneas mientras que la última es de polígonos, por lo que no podemos, mediante la herramienta “Fusión”, unir las directamente en un único archivo.

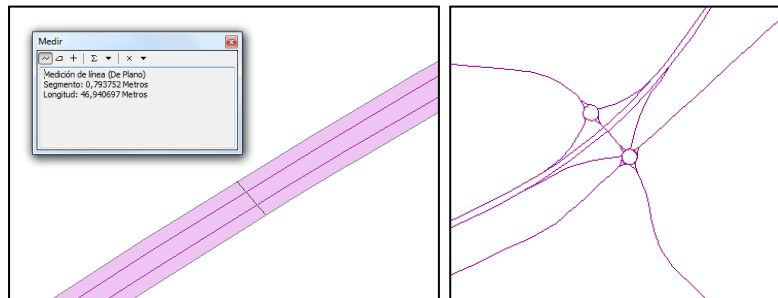
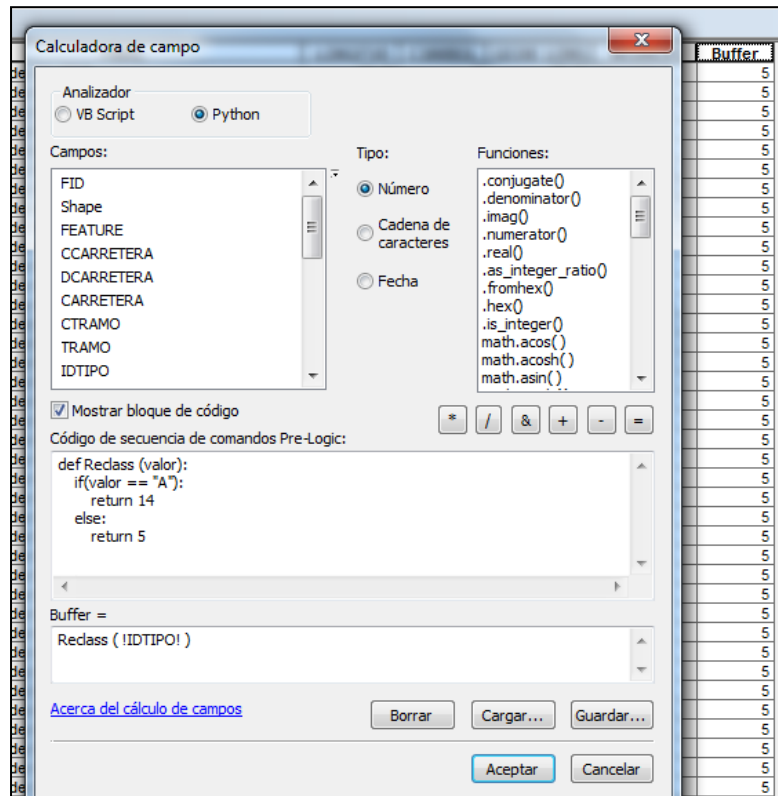
La mejor opción en este caso es transformar las capas de líneas en capas de polígono asignándoles una capa de influencia o *buffer*, tal y como hicimos con la capa de cauces en el apartado de Hidrología.

Podríamos asignar un *buffer* común para todas las vías de transporte por carretera, pero dado que están clasificadas por tipología (autovías, autopistas, carreteras de altas prestaciones, interés de la CCFF, interés general, locales, vías desdobladas), se aprovecha esta circunstancia para asignar diferentes valores al *buffer* en función del tipo (campo “TIPO”), con el fin de adaptar la ocupación de las mismas a la realidad de cada vía, ya que la sección transversal de cada tipo no es la misma. En concreto, la de las autopistas y autovías es de aproximadamente 28 m (14 m de *buffer* a cada lado de la línea), por lo que se asigna esta distancia. Para el resto de vías, se desconoce la sección de cada tipología, por lo que se asigna un *buffer* de 5 m, con lo que se obtiene una anchura de vía de 10 m.

Para asignar este valor diferencial de *buffer* utilizamos la Calculadora de campo, e introducimos el siguiente código en Python; como resultado, obtenemos los valores 5 o 14 según sean los valores del campo “IDTIPO”:

Una vez asignado este valor, se utiliza este campo para calcular una nueva capa de polígonos para las carreteras con el *buffer*. Se define el atributo Dissolve para todas las entidades con el mismo “IDTIPO”.

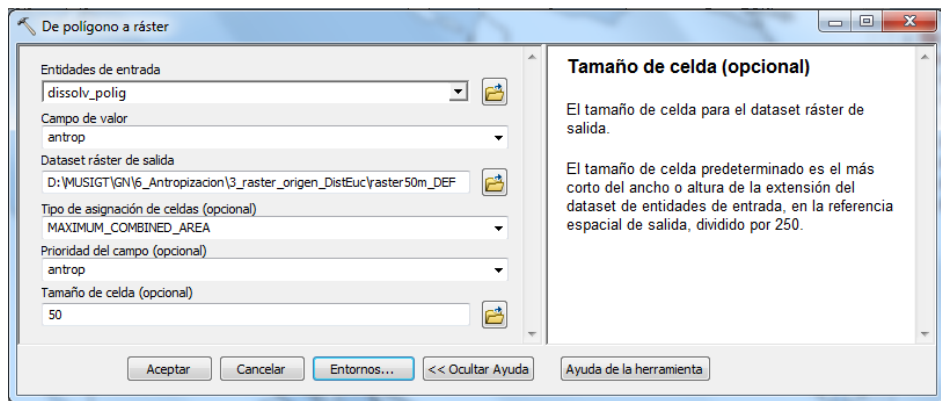
En este caso surge el inconveniente de que al disolver por el tipo de vía, en el caso de la autopista y autovía se duplica la anchura, ya que este tipo de vías se representa por una línea duplicada, una para cada dirección de la vía. Por ello, la anchura del *buffer* en estos casos no es de 28 m sino de 46m. Para corregirlo, basta con cambiar el valor del campo de *buffer* para los casos de autopista y autovía y repetir el proceso.



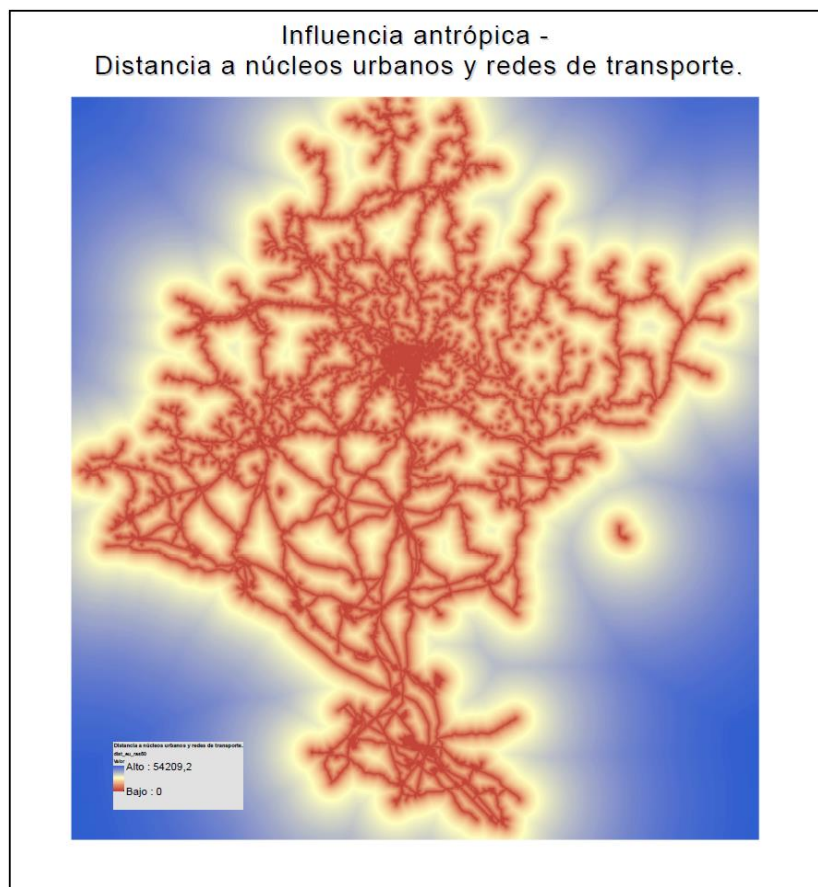
Una vez comprobada que es correcta la medida de la autovía/autopista (28m + mediana) se procede igualmente con la capa de ferrocarril; en este caso se asigna un único valor de zona de influencia o *buffer* de 4 m para toda la capa vectorial de línea.

Una vez asignados los *buffers*, se procede con el proceso de poligonización de las dos (carreteras y ferrocarril), con lo que ya será posible unirlos a la tercera capa de influencia antrópica, la de núcleos urbanos mediante la herramienta “Fusionar”, herramienta de geoprocésamiento que combina varios datasets en uno sólo, siempre y cuando sean todos del mismo tipo. Como resultado se obtiene una capa de polígonos, a partir de la cuál se obtendrá la de distancia Euclídea a los mismos.

Se procede a la obtención del raster de distancia de 50m de celda, y del Ascii correspondiente, al igual que en casos anteriores: inicialmente se disuelven los polígonos por campo común; seguidamente se obtiene el raster de tamaño de celda 50m a partir de polígono disuelto, para “Área máxima combinada”. Seleccionar esta opción no está disponible en la herramienta “Distancia Euclídea”, por eso hay que obtener en primera instancia el raster y posteriormente aplicar la herramienta de distancia.



A continuación se presenta la capa resultante de Distancia a núcleos urbanos y redes de transporte:



TAREA 3. METODOLOGÍA GENERAL DE MODELIZACIÓN

Como se desprende de la experiencia de trabajo realizada con *Vespa velutina*, la modelización de la distribución geográfica potencial de especies requiere contar información específica sobre la especie, y una serie de recursos: primeramente es necesario tener un conocimiento previo de la biología de la especie a estudiar (variable respuesta), y analizar con precisión los datos de observaciones o citas de la especie, filtrándolos en caso de que fuese necesario; en segundo lugar hay que considerar las variables independientes, disponer de aquellas que se consideren oportunas en el formato adecuado, y en caso de que no estén disponibles, desarrollar o crear las que falten; tras esto ya se está en disposición de obtener el modelo; finalmente se realiza el análisis de resultados, preferiblemente a través de su representación en un SIG.

Esta metodología se ha definido a partir del caso práctico con avispon asiático, y cada una de las fases nombradas puede desglosarse a su vez en varias subfases, pero es un planteamiento susceptible de ser trasladado a cualquier otra especie. El propósito de esta tarea es estandarizar esta metodología para que el Departamento de DRMA y AL cuente con una guía que dirija el flujo de trabajo hacia la consecución exitosa de modelos de distribución lo más ajustados posible a la realidad, y que sirvan como herramienta en la gestión de EEIs o en cualquier otra aplicación que se les quiera dar.

El proceso metodológico que se propone es el siguiente:

Paso 1: Estudio de la biología de la especie a modelizar: recopilación grosera de la vida del animal, incidiendo en los detalles que pueden influir en los análisis posteriores: hábitat conocido, referencias a las condiciones climáticas, edáficas, topográficas, etc, dependencia otros seres vivos (plantas, animales, etc), incompatibilidades (especies competidoras, depredadores, etc).

Paso 2: Recopilación de casos en el ámbito de estudio: análisis preliminar de los datos en cuanto a su veracidad y rango de distribución. Análisis de las condiciones de obtención de los mismos en el sentido de calibrar los posibles sesgos en la obtención de los datos que puedan pervertir los resultados de la modelización.

Es fundamental una buena recopilación de citas, y como consecuencia una tabla de casos, entendidos por tales la relación de casos realmente producidos (sin repeticiones y descartados los que no se consideran tales). Estos deben de estar en un formato manejable, y con una serie de campos predefinidos, haciéndose el esfuerzo de generar que la información se enmarque en el formato definido.

Finalmente los casos conocidos deben ser limpiados a efectos de los parámetros a analizar en función de que tengan la finura espacial requerida.

Paso 3: Análisis marco de datos obtenidos en virtud de los parámetros utilizados en la anotación. Antes de proceder a cualquier modelización con unos mínimos de garantía, seguramente se tendrán ya algunos datos que pueden permitir una idea de aproximación a la casuística de la especie. Así, seguramente podrán comenzar a estimarse algunos aspectos de interés aún antes de que existan datos suficientes para una modelización. Analizar estos datos podrá dar más información sobre la biología de la especie. Esto no sólo puede dar una aproximación a la especie, sino que nos puede ayudar en la estimación o selección de variables predictivas / independientes a utilizar.

Paso 4: creación de tabla *.CSV para análisis seleccionando los datos adecuados para ello. Partiendo de la tabla de datos, selección de aquellos que se usarán para el análisis mediante Maxent.

Como primer paso para la aplicación de Maxent (o programas similares), se debe generar un protocolo adecuado para transformar una hoja excel en un archivo *.CSV utilizable. Para ello hay que tener en cuenta el sistema de referencia (tipo de coordenadas) a utilizar, que sean compatibles con las biblioteca de layers, y la transformación (probablemente a través de un archivo *shape* puente), debidamente protocolizada.

Paso 5: Selección de variables independientes a priori adecuadas para el análisis, partiendo de lo extraído en Paso 1 y Paso 3. Aplicación de Maxent para descartar y orientar.

Para ello es conveniente contar con un repositorio de capas de información sobre distintos parámetros: climáticos, edáficos, topográficos, de cobertura del suelo, derivados de la influencia antrópica, etc. Las capas a utilizar deben tener una extensión geográfica idéntica, así como resolución espacial y sistema de referencia de coordenadas.

Paso 6: Obtención de modelos en Maxent. Es conveniente y casi inevitable obtener distintos modelos de distribución en Maxent, ajustando los parámetros de entrada al programa. Por ejemplo, se puede comenzar

aplicación de las capas de información a priori más interesantes. En función de los resultados obtenidos se podrán seleccionar las variables que tengan mayor peso sobre la distribución (a la vista de los gráficos *jackknife*, y volver así a obtener un nuevo modelo mejorado.

Este sería el final del proceso inicial de modelización con programa específico.

Paso 8: Cotejar a través de un visor SIG (ArcGis o similar) el resultado obtenido en Maxent en formato *.asc*. Esto puede ayudar a una mejor interpretación de los datos, ya que permite un análisis visual del mapa de distribución con mayor calidad que el raster ofrecido por Maxent. Además, tras el correspondiente procesamiento en el programa gestor de información geográfica, permite cruzar esta información con otras capas de información de interés, de tipo administrativo, etc. En función de los resultados del análisis se decidirá si obtener nuevos modelos a partir de otros datos / parámetros, o si dar el modelo por válido.

Paso 9: Elaboración de las conclusiones. Una vez obtenidos los modelos considerados válidos ya es posible interpretar los resultados para extraer la máxima información de utilidad sobre la modelización de especies realizada.

TAREA 4. MODELO DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE AVISPÓN ASIÁTICO (*VESPA VELUTINA*) EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

Como se ha mencionado en la introducción del trabajo, la capacidad de predicción de los modelos de distribución de especies los ha convertido en una herramienta clave aliada de la gestión ambiental, ya sea para el estudio de la situación ecológica de determinados entornos naturales, localización de endemismos, diseño de espacios naturales, restauración de hábitats o, como en el caso que nos ocupa, para la predicción de invasiones biológicas para su control y adecuado tratamiento. En esta última fase del proyecto se ponen en práctica los recursos desarrollados para llevar a cabo modelizaciones de especies, aplicándolos en el caso particular de una de las especies cuya presencia en Navarra supone un riesgo para las poblaciones autóctonas de abeja y un inconveniente añadido para los apicultores, como es el avispón asiático o *Vespa velutina*.

La distribución de la especie se ha calculado para un ámbito geográfico que engloba únicamente a Navarra en su totalidad. Se han utilizado para ello los datos de localizaciones de nidos de avispón asiático (coordenadas X e Y aportadas en SRC ETRS89 UTM Zona 30N (EPSG25830)), recopilados por parte del Departamento de Medioambiente de Gobierno de Navarra desde 2010 hasta julio de 2017 en la persona de Jokin Larumbe, Técnico de referencia en la temática, que ascienden a un total de 462 localizaciones.

Durante el proceso de modelización se ha partido inicialmente de los datos puros, sin procesar, y de las 31 capas de información sobre variables ambientales desarrolladas; a partir de estos datos se ha ido refinando el modelo, refinado que ha consistido en el ajuste progresivo del modelo a tres niveles:

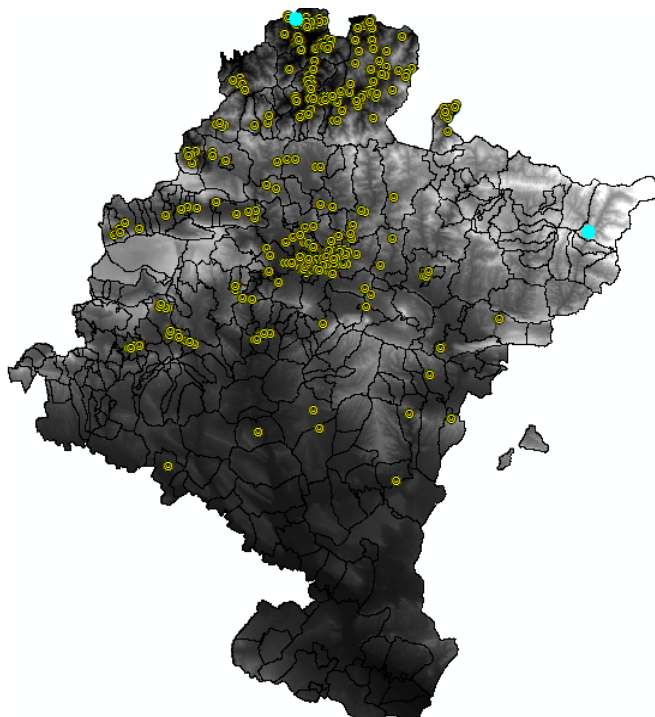
1. Filtrado de datos de localizaciones con el fin de eliminar aquellos datos redundantes, imprecisos o que pudieran aportar “ruido” al modelo.
2. Selección de las variables independientes con mayor influencia sobre la distribución de la especie.
3. Ajuste de los parámetros del panel de Configuración del propio software Maxent.

Variable dependiente: casos de presencia de *Vespa velutina* en Navarra

Existe un importante repositorio de datos de ocurrencia (localizaciones georreferenciadas de nidos de *Vespa velutina*) en Navarra, que corresponden a un período que va desde mediados de 2010 a principios de 2017. Los datos fueron aportados en momentos próximos al avistamiento del nido, por personal del propio Departamento de Medioambiente, técnicos y miembros del guarderío forestal, así como por parte de personal ajeno al Departamento, como pueden ser ayuntamientos, bomberos u otras entidades; incluso se han recopilado datos aportados por particulares, cuya información era después corroborada por el propio Departamento.

Esta tarea de recopilación de datos, junto con un importante estudio bibliográfico de la biología de la especie, ha dado lugar a un amplio conocimiento del animal, que facilita en gran medida la interpretabilidad de las predicciones geográficas obtenidas. Típicamente, la especie está adaptada a climas subtropicales templados del norte de la India y montañas de China. A partir de los datos con los que se cuenta para el presente trabajo se han obtenido las altitudes máxima y mínima de los nidos encontrados, siendo la máxima para un nido encontrado en 788 m (Azpirotz) y la mínima en Bera (28 m).

Dado que la mayor parte de las localizaciones de presencia (nidos) georreferenciadas proceden de avistamientos no dirigidos, tanto por parte de particulares como de personal técnico o del guarderío forestal, es ciertamente probable que las localizaciones presenten un sesgo en cuanto a distribución geográfica. Por ejemplo, es típico que se



encuentren con mayor frecuencia en zonas cercanas a núcleos urbanos; esto es lógico teniendo en cuenta que en las zonas más habitadas, los nidos son más susceptibles de ser vistos al haber más observadores en el entorno, a diferencia de las zonas alejadas de los núcleos urbanos. Esto no implica necesariamente que en las zonas alejadas de las poblaciones, la presencia de los nidos sea menor. Pero es cierto que, la diferencia en este caso entre el número de nidos en núcleos urbanos y zonas no urbanas (proporción de incluso 20 veces superior en algunas poblaciones) es tal que puede que esta distribución obedezca, no sólo al sesgo causado por el mayor número de observadores, sino también a que efectivamente la especie tiene cierta preferencia por los núcleos urbanos.

Una solución para reducir este posible sesgo podría ser realizar un filtrado espacial de los datos de partida; este filtrado debería dar lugar a una mejor localización geográfica de los datos, que pasarían a estar menos correlacionados entre sí. Un criterio posible de filtrado podría ser realizar un muestreo aleatorio de los datos poniendo como condición una distancia mínima al más próximo, de por ejemplo, 5 km. A la derecha se presenta el resumen de los datos distribuidos por años (*hasta mayo de 2017):

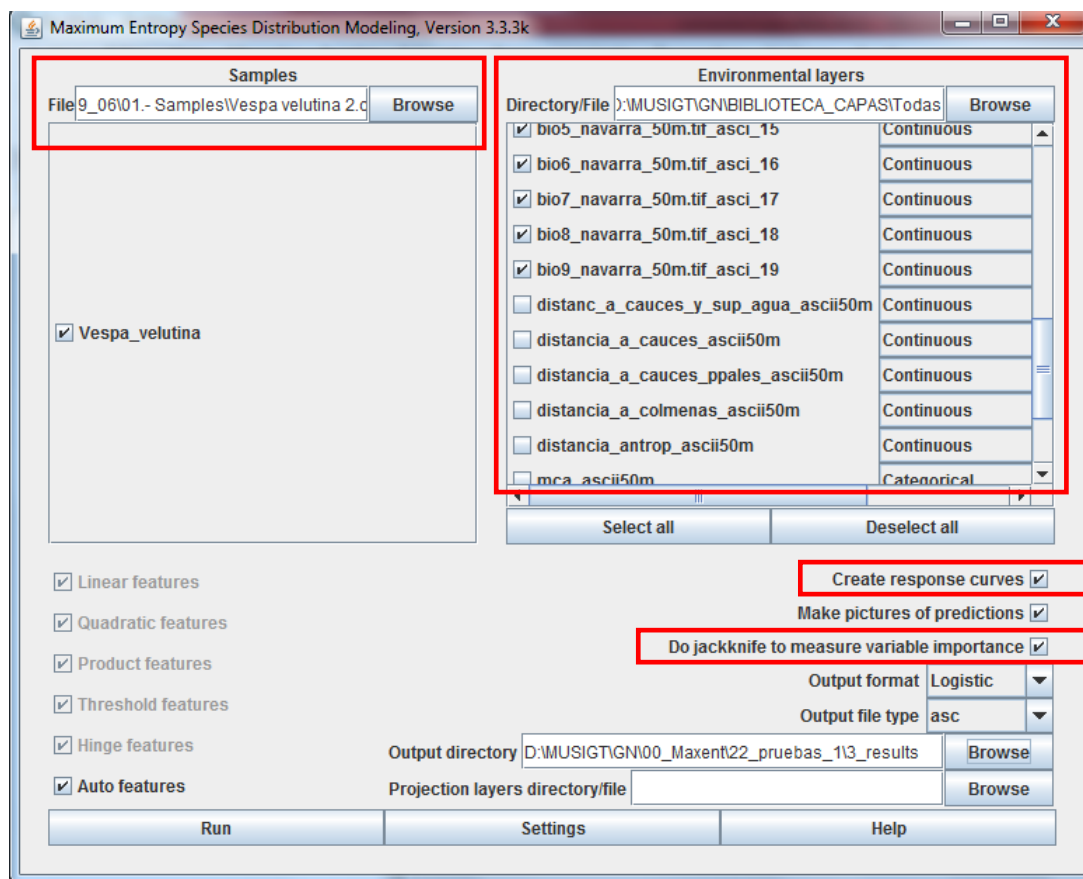
Año	Total
2010	3
2011	63
2012	85
2013	35
2014	23
2015	64
2016	180
2017*	8

Las localizaciones están centradas en la mitad norte de la región, con mayor aparición en la mitad oeste; sobre todo se trata de zonas con cierta humedad y temperaturas moderadas, encontrándose una fuerte acumulación de avistamientos en los alrededores de la cuenca del río Bidasoa, así como en las inmediaciones de Pamplona, donde la cantidad de registros es especialmente elevada.

Tomando los datos brutos de presencias (localizaciones X e Y de nidos), se eliminan en ArcGis los registros considerados no adecuados para la modelización por estar fuera de los límites de la región de estudio (algunas coordenadas no estaban correctas y caían fuera de Navarra). No ha sido en este caso necesario transformar las coordenadas de los datos, ya que han sido aportados en ETRS89 UTM Zona 30N.

A partir de los datos filtrados se construye el archivo en formato de textos separados por comas (.csv) que será leído por Maxent; de este elenco de datos, indicaremos al software que lo divida en dos subconjuntos, de entrenamiento y de test, tal y como se describe a continuación.

Tabla 2. Nº citas/año



Variables independientes

Para la modelización de *Vespa velutina* se parte de las 31 capas de información desarrolladas en la Tarea 2, con una resolución de 50 m. Esta resolución no es “real” en el caso de las 19 capas climáticas, ya que se partía de capas de una resolución inferior (786 m). Se decidió trabajar en estas variables ambientales en base al conocimiento de la ecología de la especie, esperando que pudieran explicar su comportamiento y distribución, así como el de otras muchas especies exóticas invasoras que están presentes en Navarra. Durante la obtención del modelo de distribución definitivo de *Vespa velutina* se seleccionarán las variables con más influencia sobre la especie.

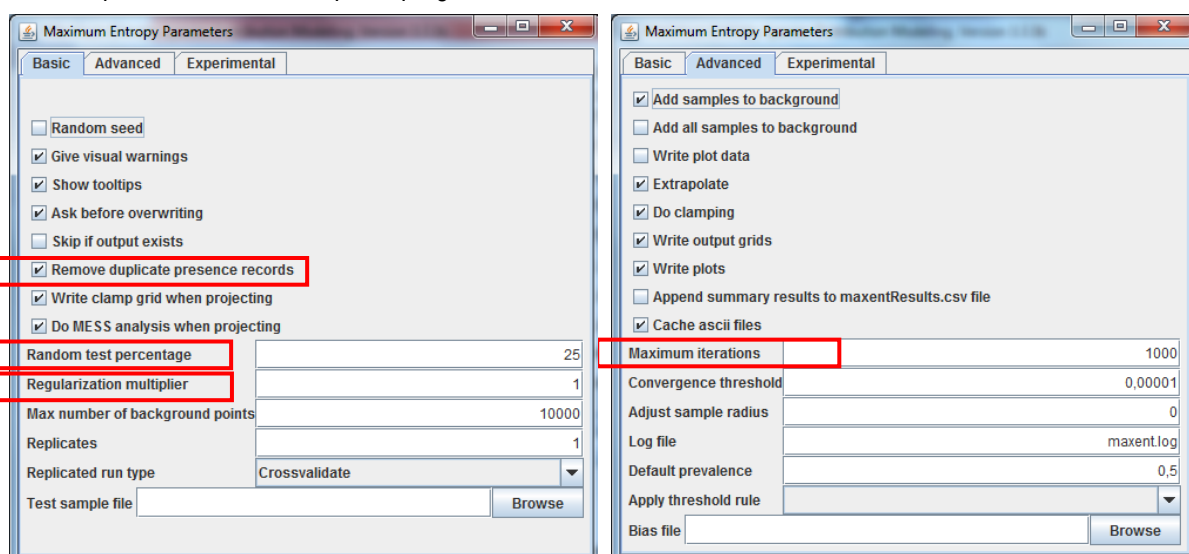
Ajuste de parámetros de MaxEnt: Panel de Configuración

Para la obtención del modelo se ha utilizado el software MaxEnt 3.3, con salida logística. Además, se le pide al programa crear curvas de respuesta y gráfico *jackknife*: en este caso se trata de salidas que facilitan la interpretabilidad de los resultados.

Como se ha descrito en la Introducción de este apartado, Maxent permite especificar **parámetros de configuración** para obtener un modelo más ajustado en base a unos criterios; a continuación se describen los parámetros que han sido definidos para el presente trabajo de manera diferente a los ofrecidos por defecto por el programa:

1. *Random test porcentaje (Porcentaje de muestra aleatoria para test)*: el valor por defecto es 0. Se redefine a 25%. Dado que se cuenta con un número elevado de citas, teso que este % de las muestras puedan ser utilizadas como test para evaluar el ajuste del modelo.
2. *Regularization multiplier (Factor de regularización)*: el valor por defecto es 1. Este parámetro limita la complejidad del modelo (sobreentrenamiento) mediante regularización: penalización para el parámetro β de cada variable. Valores por debajo del valor por defecto causarán mayor complejidad del modelo, y por tanto, posible sobreentrenamiento del modelo; valores por encima del valor por defecto reducen el sobreentrenamiento y la complejidad del modelo, pero causan una pérdida de su capacidad discriminadora. En este caso se realizan varias pruebas para los valores de Regularización: 0.5, 1, 1.5 y 3. Ha de comprobarse la idoneidad de esta regularización mediante el análisis de los cambios en las AUC.
3. *Maximum iterations (Número máximo de iteraciones)*: el valor por defecto es de 500 iteraciones para el algoritmo del modelo; para garantizar que el modelo converge se establece el nuevo valor en 1000 iteraciones. El umbral de convergencia por defecto está establecido en 0.00001.

Estos 3 parámetros comentados dan idea de la versatilidad del programa a la hora de obtener un modelo; el software proporciona una amplia relación de parámetros a determinar, que influyen en la distribución final obtenida, así como en los resultados estadísticos ofrecidos. En este caso, para el resto de parámetros se dejan los valores por defecto ofrecidos por el programa.



Obtención de modelos de distribución geográfica en Maxent

La metodología de trabajo con Maxent permite obtener modelos diversos en función de las variables utilizadas, de los parámetros del modelo y de las localizaciones de entrada. Evidentemente, unos modelos se ajustarán más a la realidad que otros, por lo que es importante analizar los resultados obtenidos.

A continuación se describen los 10 modelos obtenidos con Maxent en sendas 10 pruebas (más una prueba 0 preliminar para verificar el correcto funcionamiento de las capas creadas). En una primera fase (pruebas 1 y 2) el trabajo se centra en la selección de las variables más relevantes para la especie; posteriormente se van obteniendo nuevos modelos ajustados, hasta que las pruebas finales ya están destinadas a la obtención de modelos predictivos de distribución geográfica óptimos (pruebas 4 a 7).

Prueba 0: Funcionamiento de las capas

Para comprobar la validez de todas las capas obtenidas se obtiene un primer modelo a partir de todas ellas (variables independientes); en esta prueba preliminar se obtiene que la capa de distancia a colmenas, la de orientación y la de pendiente apenas tienen relevancia sobre la distribución final; esto se infiere de la gráfica *jackknife* resultante.

Prueba 1: Objetivo: seleccionar variables climáticas.

Como primer paso se obtiene un modelo únicamente a partir de las 19 capas climáticas (temperaturas y precipitaciones) con el fin de seleccionar aquellas que, según el software, aporten más información al modelo. Entre las capas existe información redundante (por ejemplo, precipitación del mes más seco y trimestre más cálido), por lo que es conveniente descartar las capas que aporten menos ganancia al modelo, lo cual se obtiene de la gráfica *jackknife*. Como se describe en el apartado 12. Resultados y Discusión, a la vista del *jackknife* para la ganancia de los puntos de entrenamiento, se obtiene que el orden de importancia de las capas de clima, yendo de mayor importancia a menor, sería el siguiente: 18-19, 1, 14, 4, 7, 10, 9, 17, 12, 15, 8, 3, 2, 16, 5, 6, 11, 13. En el apartado 11. Resultados y Discusión se detallan las capas seleccionadas.

Prueba 2: Objetivo: seleccionar variables ambientales no climáticas.

Se utilizan todas las capas no climáticas para encontrar las más relevantes (salvo pendiente, orientación y distancia a colmenas, cuya escasa influencia se ha comprobado en pruebas preliminares). Como se describe en el apartado de resultados, al obviar las capas de clima, aparece presente por todo Navarra incluso el sur. Se obtiene que las capas con mayor influencia son Distancia a núcleos urbanos, MCA y Distancia antrópica; luego MDT y tipos de suelo.

En el apartado de Resultados y discusión se detalla cuáles han sido las variables seleccionadas finalmente.

Prueba 3: Objetivo: modelo de distribución a partir de capas climáticas y no climáticas seleccionadas.

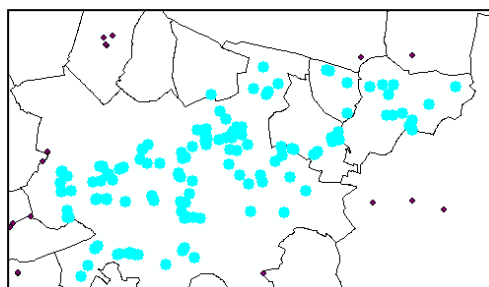
Como resultado se obtiene un primer modelo de distribución geográfica, el cual se irá optimizando en posteriores ensayos; como se ha comentado, este ajuste/optimización se conseguirá redefiniendo varios parámetros.

Prueba 4: Objetivo: obtención de modelo de distribución optimizado. Sin Distancia a núcleos urbanos.

La capa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) ya contiene información (categórica en este caso) relativa a la localización de los núcleos urbanos, por lo que podría resultar reiterativo incluir dos capas que contienen información parecida. Tal y como se describe en el apartado 11. Resultados y Discusión, se observa una relación excesivamente acusada con los núcleos urbanos, por lo que, con el fin de reducir el posible sesgo, se obtiene un nuevo modelo eliminando la capa de distancias a núcleos urbanos.

Prueba 5: Objetivo: obtención de modelo de distribución optimizado. Filtrado geográfico de datos de entrada.

De los 460 registros de entrada correspondientes a ubicaciones de nidos de avispon asiático, 136 están localizados en el municipio de Pamplona. Se elimina la mitad de estos registros al azar, para evaluar los efectos de tener una distribución geográfica más deslocalizada, más dispersa. Se eliminan puntos de Pamplona, la mitad, al azar, y se crea un nuevo archivo .csv con 390 registros a partir de los cuales se obtiene un nuevo modelo.



Prueba 6: Objetivo: obtención de modelo de distribución optimizado. Filtrado de datos a un solo año: 2016.

Cada temporada, que puede corresponderse con una anualidad, el avispon asiático genera nidos que tendrán una durabilidad limitada y desaparecen para el año siguiente. Esto implica que cada año pueden existir registros correspondientes a nidos diferentes en localizaciones muy parecidas y cercanas, pudiendo generarse un cierto solapamiento de los datos en las zonas de condiciones más adecuadas para la especie. La medida de utilizar los datos de una única temporada parece indicada a la hora de encontrar una distribución geográfica potencial equilibrada. Por ello se efectúa un nuevo ensayo para una única temporada, el año 2016, que es la más abundante en cuanto a número de registros (160) para eliminar este posible sesgo y analizar los efectos de una distribución geográfica más homogénea.

Prueba 7: Objetivo: obtención de modelo de distribución optimizado. Con factores de Regularización.

Esta última prueba consta en realidad de 4 pruebas, en cada una de las cuales se ajusta uno de los parámetros ofrecidos por el software: el factor de Regularización que, como se ha comentado anteriormente, contribuye a evitar el sobreentrenamiento del modelo. Se obtienen 4 nuevos modelos para los factores 0.5, 1 (valor por defecto), 1.5 y 3. Estos valores no han sido elegidos al azar sino que responden al siguiente criterio: como valor inferior a 1 se ha considerado 0.5 como valor intermedio situado entre 1 y 0; los valores superiores a 1 están basados en experiencias previas y en bibliografía, en las cuales se han obtenido distribuciones razonables con valores de hasta 6; se utiliza un valor de 3 para conseguir un ajuste moderado sin modificar en exceso el modelo.

Es de esperar que el valor por debajo del valor por defecto aumente el sobreentrenamiento del modelo, lo que en la práctica se plasmará como una mayor restricción de los valores de alta probabilidad a zonas más concretas (mayor enfoque del modelo); por otra parte, para los valores por encima del valor por defecto, el posible sobreentrenamiento del modelo disminuye, pero va perdiendo complejidad y capacidad de discriminar por parte de la función de predicción, con lo que se va perdiendo precisión. El objetivo es encontrar un factor de Regularización adecuado.

Representación gráfica en ArcGis

Los resultados que devuelve Maxent incluyen, además del comentado archivo *.html* que recoge la mayor parte de la información estadística, otro archivo en formato *.asc* (ASCII) que puede ser visualizado en un visor SIG, para su manipulación y análisis visual y numérico.

Es necesario procesar los archivos que devuelve Maxent en un gestor de información geográfica como ArcGis, para así poder extraer la máxima información de los archivos cruzándolos con otras capas de información, tal y como se comprobará a lo largo de la Tarea 5. Entre otras cosas es necesario poligonizar el raster obtenido para poder confrontarlo con otras capas de información como puede ser la de municipios, así como para poder extraer información como superficie afectada.

Además de representar las salidas ofrecidas por Maxent se han obtenido mapas de diferencias entre modelos obtenidos a partir de dos listados de datos: uno de las localizaciones registradas hasta 2014 y otro con todas las localizaciones registradas hasta 2017 (ver apartado 11. Resultados y Discusión).

También se ha obtenido un mapa de las diferencias entre un modelo obtenido con todos los registros y otro modelo obtenido de forma similar pero habiendo eliminado los registros de Pamplona, que son los que manifiestan una acumulación más acusada (ver apartado 11. Resultados y Discusión).

Finalmente, el procesado de los archivos ASCII de Maxent mediante ArcGis ha permitido cruzar la información contenida en los resultados del modelo optimizado con otra información relativa a las explotaciones apícolas y al ámbito geográfico de Navarra, lo que ha permitido extraer una serie de conclusiones útiles para la gestión ambiental del territorio en lo referente a *Vespa velutina*.

Procesamiento de los datos (.asc) para su interpretación

Transformación desde raster a shape de polígonos de categorías de probabilidad

Como se ha comentado, Maxent construye mapas de idoneidad de presencia de *Vespa velutina* a partir de los datos introducidos para cada modelo, así como una serie de gráficas y tablas que permiten un análisis estadístico más profundo. No obstante, de cara a la interpretación de los resultados y a facilitar la interacción con otras capas de información del territorio que puedan facilitar la gestión de la especie, se han procesado

dichos mapas en ArcGis y se han obtenido datos de superficie afectada que se han adaptado con Microsoft Excel.

Se ha llevado a cabo un proceso para obtener polígonos a partir de los raster/Ascii iniciales. Para ello ha sido necesario previamente agrupar los valores de cada raster (valores entre 0 y 1) en 11 categorías, las cuales podrán ser transformadas a Polígono. Esto se ha conseguido mediante la herramienta “Reclasificar”.

Las 11 categorías corresponden a los valores de probabilidad presentados en la tabla adjunta a la derecha. Una vez reclasificados los archivos, ya es posible transformarlos a formato *shape* de polígonos, clase de entidad que permite realizar geoprocursos que no pueden llevarse a cabo en el formato ráster/Ascii inicial; por ejemplo, no es posible obtener la cantidad de píxeles de cada valor (Count), ya que el número de Valores únicos del ráster es demasiado elevado (superior a 4.000.000) y ArcGis tardaría demasiado en calcularlos.

Posteriormente a la obtención de los polígonos es necesario Dissolver por el campo de clases creado, con el fin de no tener un polígono para cada valor de raster sino un único polígono que contenga cada categoría de probabilidad.

Probabilidad (Maxent)	Clase / Value del polígono
0 – 0.05	0
0.05 – 0.1	1
0.1 – 0.2	2
0.2 – 0.3	3
0.3 – 0.4	4
0.4 – 0.5	5
0.5 – 0.6	6
0.6 – 0.7	7
0.7 – 0.8	8
0.8 – 0.9	9
0.9 – 1.0	10

Tabla 3. Clases de Probabilidad

Tanto la reclasificación de los archivos como la transformación a polígono y finalmente la disolución, se realizan mediante el constructor “Model builder”, que permite ejecutar en bucle las acciones descritas para todos los archivos que incorporemos en un determinado directorio de entrada. Como complemento, durante el procesamiento de los archivos en el constructor se incorpora un nuevo campo numérico de nombre “Superf_k^{m2}” a la tabla de atributos del archivo de salida, el cuál contendrá la superficie de cada polígono obtenida mediante la Calculadora de campo y la expresión [Campo nº pixels de cada clase] * 0.0025 (cada pixel es de 50 x 50m, o 0.0025 km²).

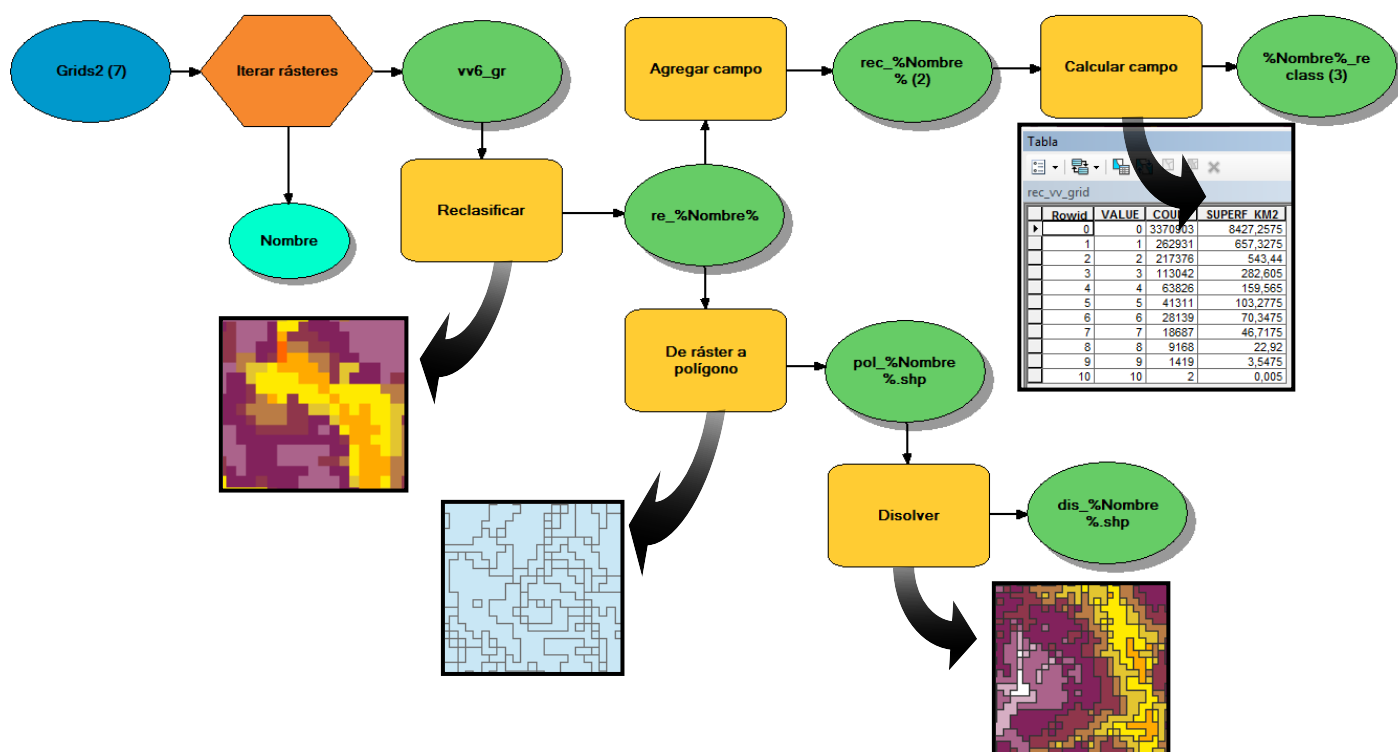
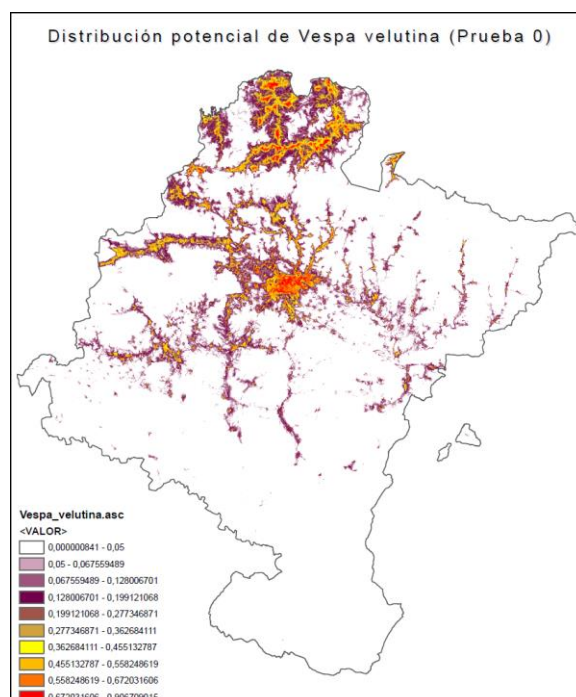


Figura 1. Herramienta de procesado para la Reclasificación, paso de Ráster a Polígono y Disolución, en Model Builder.

11. Resultados y Discusión

En este apartado se presentan y analizan los resultados obtenidos en la Tarea 4: Modelo de distribución potencial de *Vespa velutina*.

La representación de estos mapas corresponde a la visualización en ArcGis de los *ascís* generados por Maxent, con una paleta de colores diseñada específicamente (el código de colores se explica más adelante), y que deja en blanco las celdas cuya probabilidad es inferior a 0,05. Esta visualización es subjetiva y se podría haber dejado como No color cualquier otro rango de valores. A continuación se presenta el Modelo correspondiente a la Prueba 0, prueba preliminar realizada para comprobar el correcto funcionamiento del programa con las capas desarrolladas, así como para realizar una primera criba en la que se descartarán tres de las capas con menor relevancia a la hora de crear el modelo, como son la de Pendiente, Orientación y Distancia Euclídea a colmenas.



Modelo preliminar. Distribución obtenida a partir de 25 variables de información.

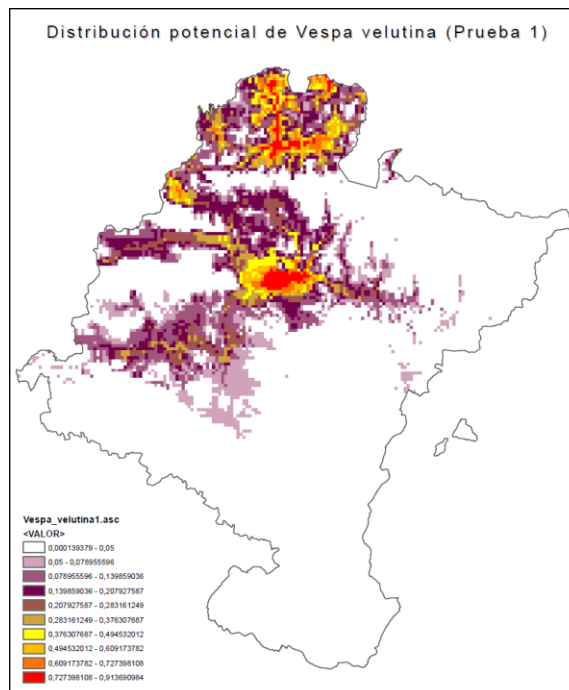
Selección de variables

Como se ha descrito en el apartado anterior, Tarea 4, las tres primeras pruebas realizadas (0, 1 y 2) han permitido analizar la influencia de la selección de variables sobre el modelo obtenido. El análisis visual de los mapas de distribución arrojados por Maxent en este caso para las distintas selecciones de variables permite inferir dos aspectos principalmente:

- 1) Prueba 1: la utilización de variables climáticas (precipitación y temperatura) resulta en una distribución coherente y válida (Prueba 1) a priori, pero bastante “grosera”, ya que no discrimina excesivamente entre las zonas de valle y las zonas más elevadas; esto es debido a que la capa tiene una resolución espacial menor. Por otra parte, la aplicación de capas no-climáticas (Prueba 2) muestra una tendencia muy acusada hacia las zonas urbanas, incluyendo valores de probabilidad altos para las poblaciones de toda la zona sur, que resultarían demasiado calurosas para la especie en cuestión; lo mismo ocurre con los núcleos urbanos de los valles pre-pirenaicos.

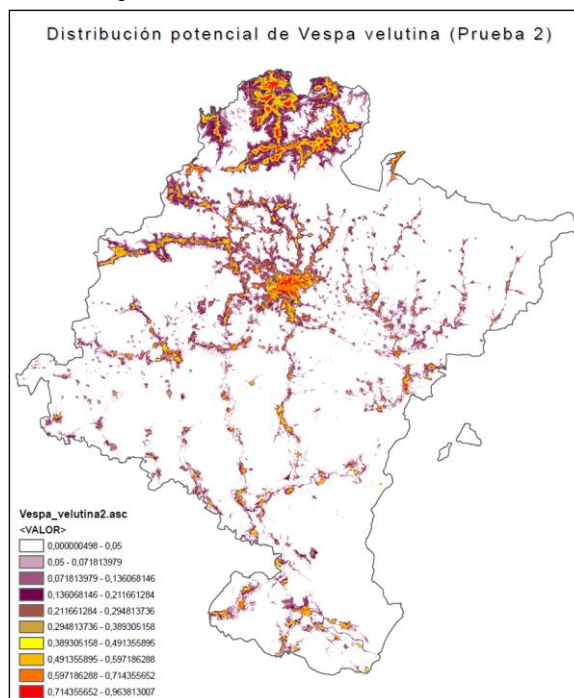
Como resultado de la selección de las 11 variables más influyentes (Prueba 3) se obtiene un modelo que recoge la distribución geográfica que atiende a factores climáticos (cuenca del río Bidasoa, valle de Baztán y cuenca de Pamplona, Barranca y Tierra Estella, así como zonas bajas de los valles prepirenaicos) pero más refinada y asociada a altitudes más bajas, debido a la incorporación de las

capas no climáticas. Además, se reduce la influencia tan acusada de las poblaciones en la mitad sur del territorio. Por tanto, se refina y ajusta el modelo gracias a la selección combinación de las distintas tipologías de variables.



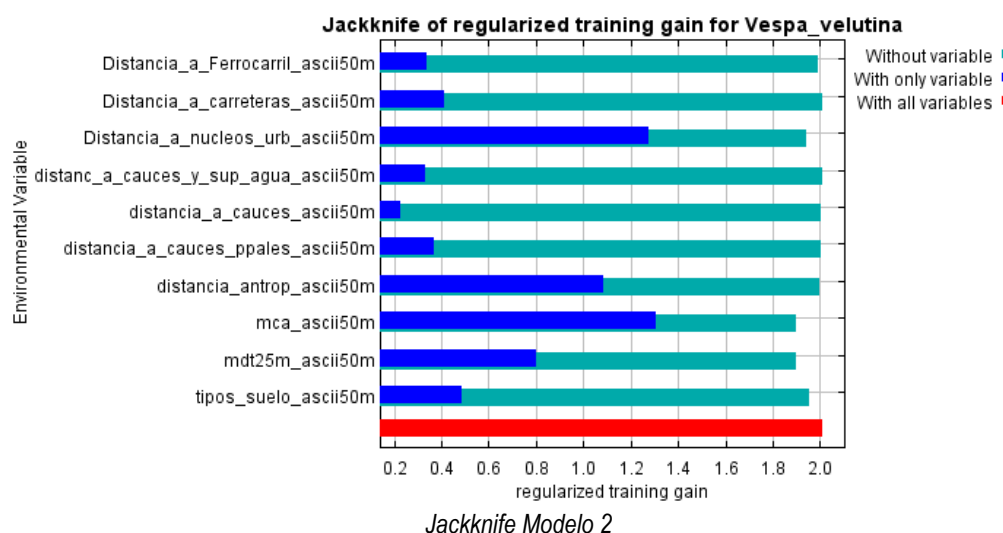
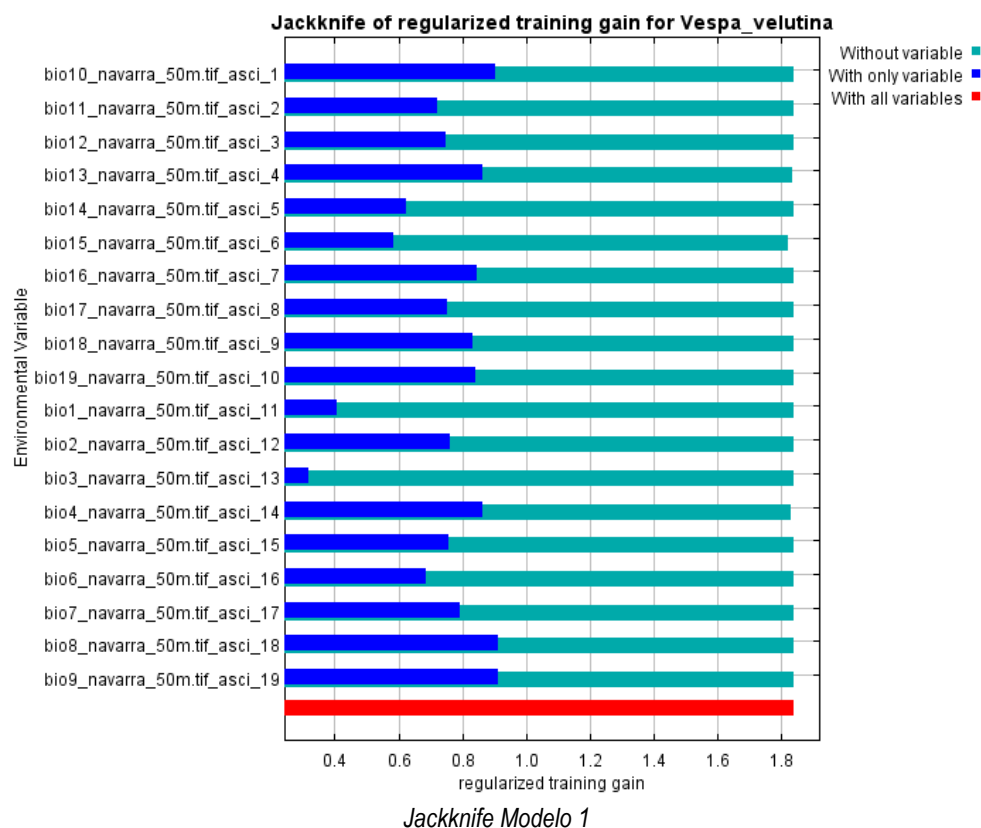
Modelo 1. Distribución obtenida a partir de 19 capas climáticas.

- 2) Prueba 2: la selección de las variables con mayor influencia sobre el modelo consigue afinar los resultados, y la reducción de las variables desde 31 a 11 permite una mayor agilidad del software. Además, la reducción en número no supone una reducción en la calidad de la información, al contrario, se consigue en este caso un aumento de la ganancia (*gain*) de información conseguida: *gain* Prueba 1 = 1,840; *gain* Prueba 2 = 2,010; *gain* Prueba 3 = 2,087.



Modelo 2. Distribución obtenida a partir de 12 capas ambientales no climáticas.

Con cada ejecución del algoritmo llevada a cabo por Maxent se incrementa la ganancia del modelo mediante la modificación del coeficiente correspondiente a una única característica; el programa asigna el incremento en la ganancia a las variables ambientales de las cuales depende dicha característica. Para analizar cuáles son las variables ambientales que contribuyen en mayor medida al modelo es imprescindible estudiar las gráficas *jackknife*.



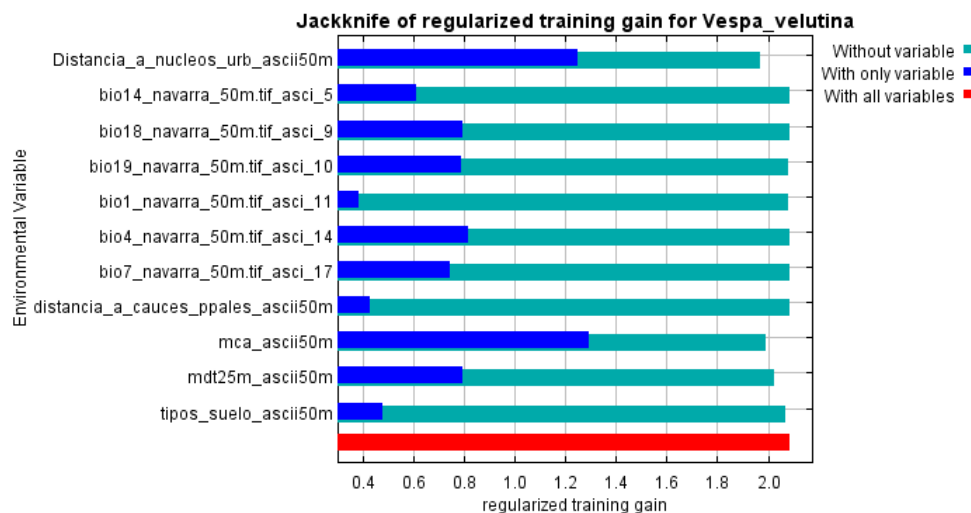
La selección de variables se realiza atendiendo a los jackknifes ofrecidos por Maxent, en función de la ganancia (gain) conseguida y aportada por cada capa utilizada, visualizada en las gráficas *jackknife*.

En el caso de las climáticas, el valor de gain Según la clasificación obtenida, las capas más influyentes serían las siguientes:

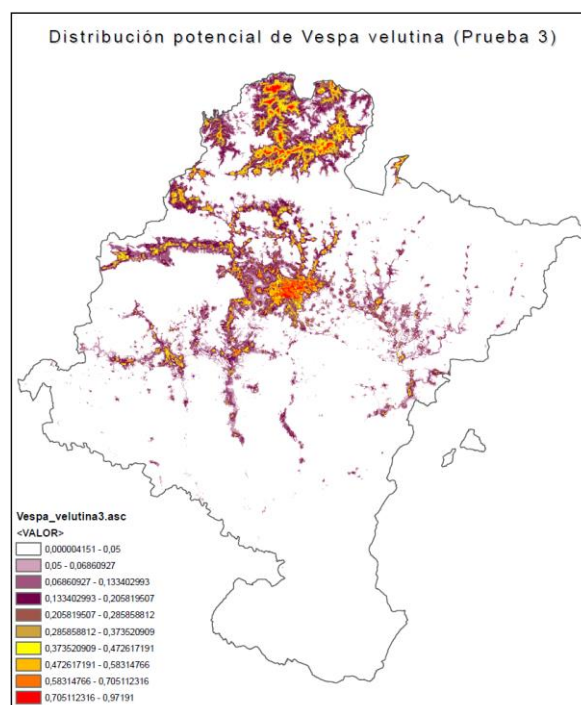
1. Temperatura media anual (BIO1)
2. Temperatura Estacionalidad (DE*100) (BIO4)
3. Temperatura Rango anual (BIO5-BIO6) (BIO7)

4. Precipitación del mes más seco (BIO14)
5. Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)
6. Precipitación del trimestre más frío (BIO19)
7. Distancia a núcleos urbanos
8. MCA (Mapa de Cultivos y Aprovechamientos)
9. MDT25m
10. Tipos de suelo
11. Distancias a cauces principales

Tras esta primera selección de variables se realiza la tercera prueba, de la que se obtiene el Modelo 3:



Jackknife Modelo 3



Modelo 3. Distribución obtenida a partir de primera selección de variables climáticas y ambientales.

Optimización del modelo I: Filtrado de datos

Filtrado geográfico: Prueba 5

La eliminación de los datos que quedaban fuera de rango (por coordenadas erróneas) y la reducción a la mitad de las localizaciones correspondientes al municipio de Pamplona supone una reducción del número de citas del 15%, y consigue una distribución más homogénea de los datos.

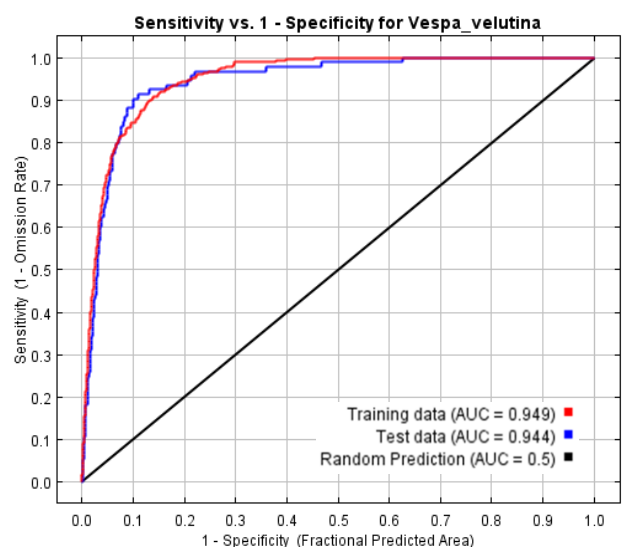
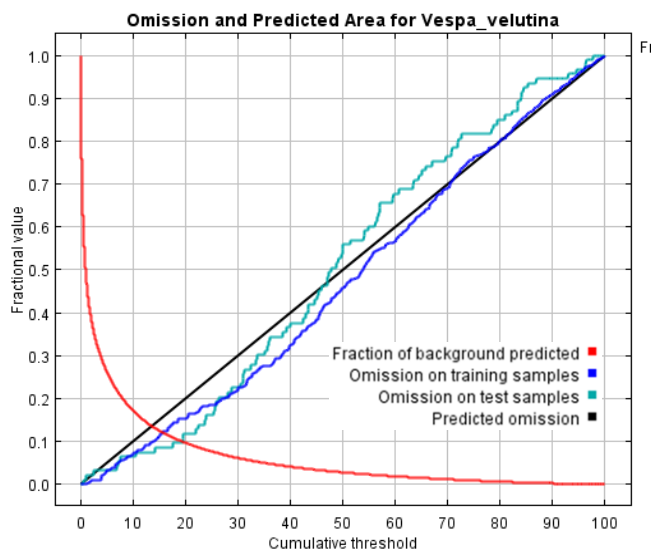
El modelo obtenido para esta lista de coordenadas (Prueba 5) no difiere en exceso de los anteriores en cuanto a distribución por la geografía de Navarra. Aunque no es el objetivo del presente trabajo analizar exhaustivamente las salidas estadísticas arrojadas por Maxent, en este caso sí que es conveniente analizar al menos someramente las gráficas de Omisión (sobre los datos de entrenamiento y de test) y la curva ROC (AUC):

En la gráfica superior se observa como la tasa de omisión (celdas en las que cabe esperar que haya presencia y que han sido catalogadas como de ausencia o probabilidad baja) sobre las muestras de test (línea azul turquesa) se ajusta muy bien a la tasa de omisión estimada (línea negra o tasa estimada para los datos de prueba de la distribución de Maxent por sí misma).

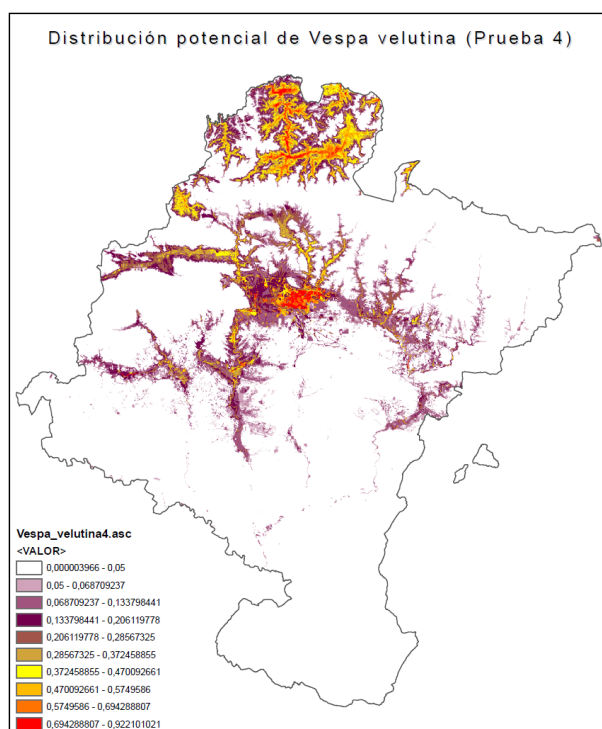
La segunda gráfica corresponde a la curva ROC (Receptor Operated Curve), y da idea de la capacidad predictiva (calidad) del modelo en términos de sensibilidad (verdaderos positivos) y la especificidad (verdaderos negativos); la línea roja muestra el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento, mientras que la línea negra muestra lo que podría esperarse si el modelo no fuera mejor que el azar. Cuanto más cercano a 1 es el valor del área bajo la curva (AUC), mejor es el ajuste del modelo; en este caso el valor de AUC es de 0,949.

Filtrado por año de datos: Prueba 6

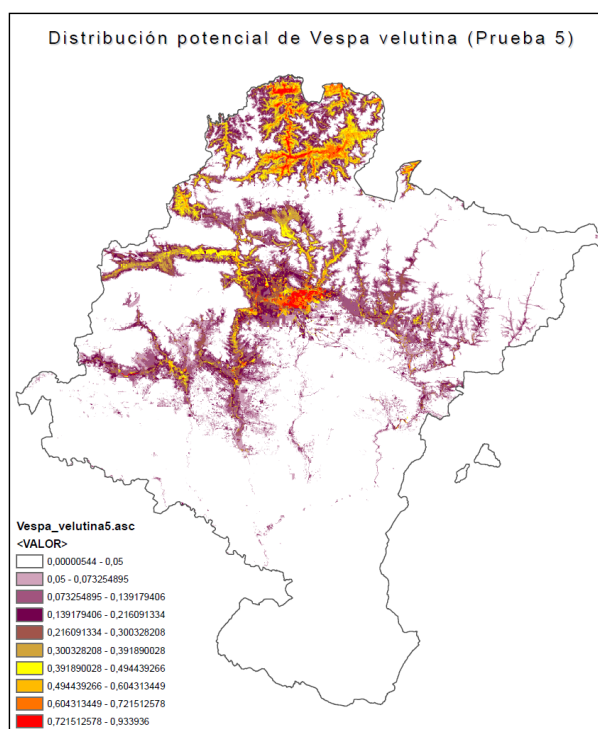
La colección total de datos de ubicaciones de nidos asciende a 439, de las cuales, 160 citas corresponden al año 2016. La finalidad de limitar los datos de entrada a una única temporada es comprobar cómo afecta al modelo la disminución del número de datos, evitando por otra parte solapamientos en las áreas en las que la densidad de avistamientos es mucho más alta, como son la cuenca de Pamplona (principalmente el propio Municipio) y toda la cuenca del río Bidasoa.



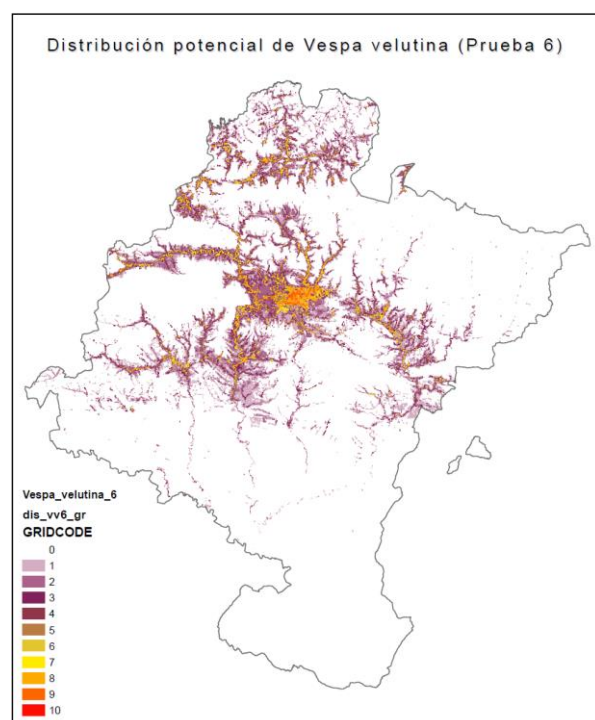
Tasa de omisión y curva ROC para el Modelo 5.



Modelo 4. Distribución obtenida a partir de 10 capas seleccionadas (sin Distancia a núcleos urbanos)



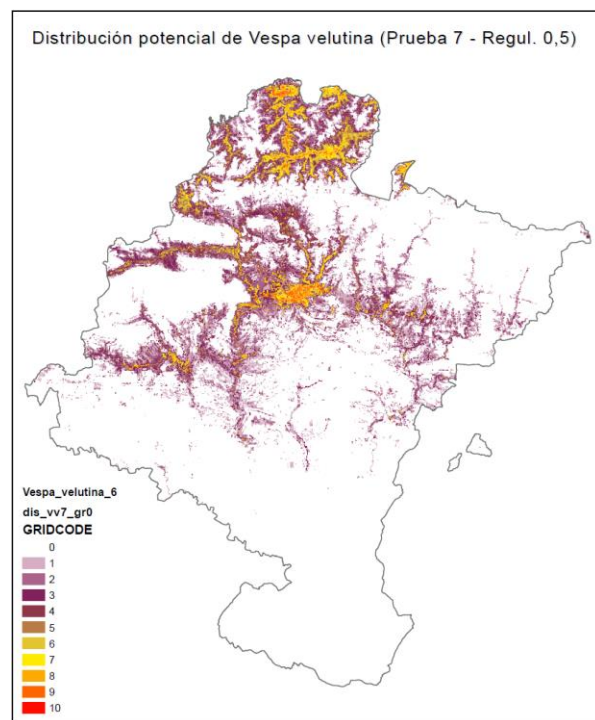
Modelo 5. Distribución obtenida a partir de 10 capas seleccionadas y datos filtrados geográficos



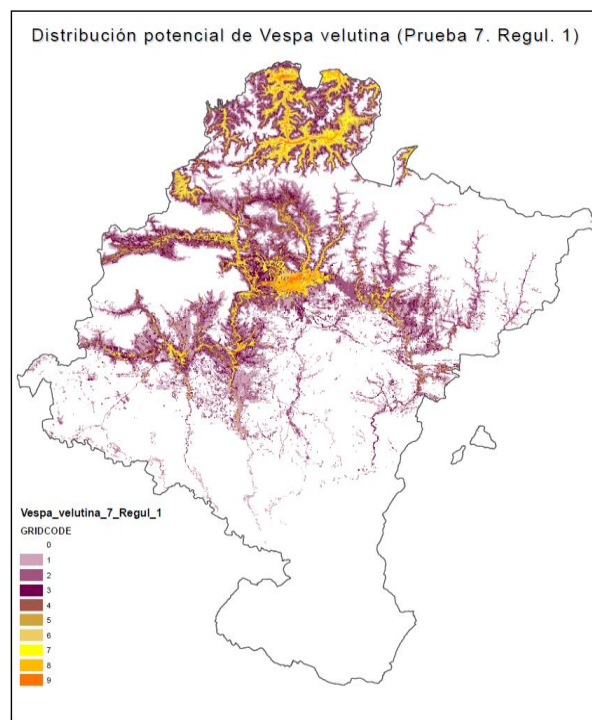
Modelo 6. Distribución obtenida a partir de 10 capas seleccionadas y datos de un solo año (2016)

Optimización del modelo II: efecto de la Regularización

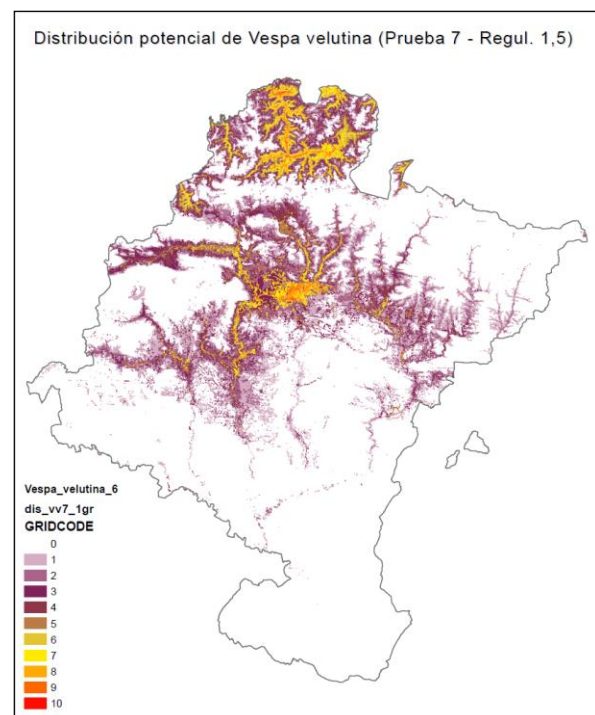
Como se ha descrito anteriormente, el factor de regularización sirve para corregir el efecto de sobreentrenamiento de los datos. Se han obtenido 3 modelos con distintos factores de regularización (0.5, 1.5 y 3), más un modelo con el factor por defecto (1). Como se observa en las imágenes de los modelos obtenidos para la Prueba 7, el factor 0.5 da lugar a un mapa cuyos valores de probabilidad alta están más localizados en el terreno.



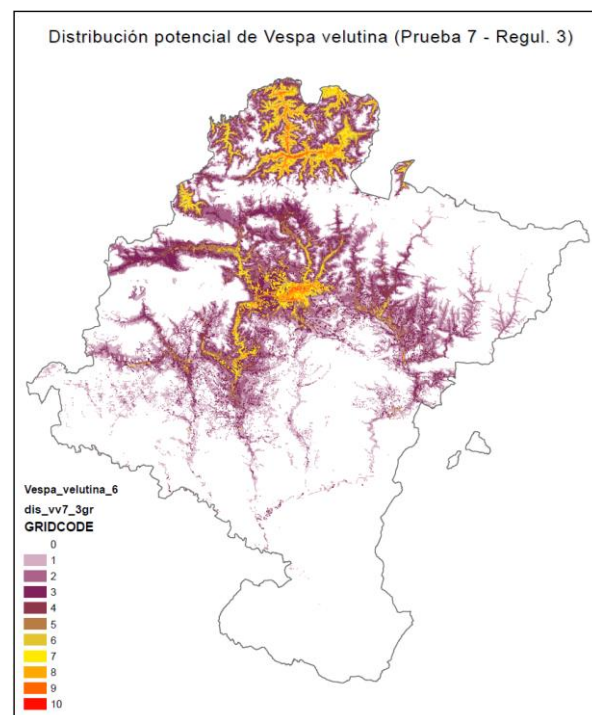
Modelo 7. Factor de Regularización = 0,5



Modelo 7. Factor de Regularización = 1



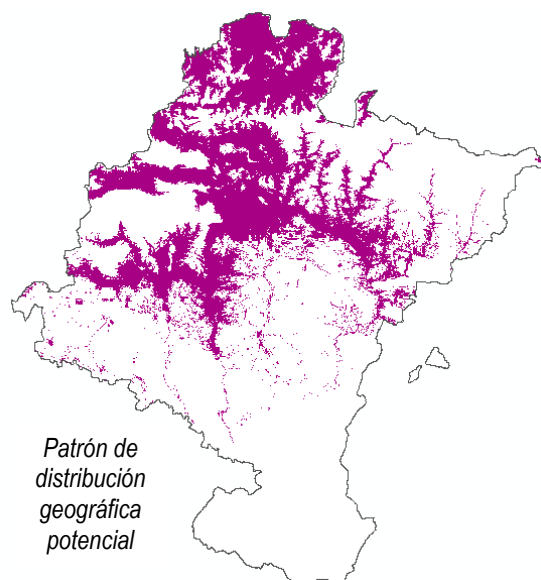
Modelo 7. Factor de Regularización = 1,5



Modelo 7. Factor de Regularización = 3

Modelo óptimo

Como se ha comprobado, no existe un único y definitivo modelo de distribución para una especie sino que, el proceso de selección de variables, el filtrado de localizaciones, la incorporación del factor de regularización al algoritmo aplicado, o el ajuste de otros parámetros aparte de los que se han definido en este trabajo condicionan la distribución geográfica predicha. De esta forma se obtienen distintos modelos, varios de los cuales pueden considerarse válidos.



No obstante, en el caso que nos ocupa se observa que, a pesar de la variabilidad propia de cada modelo, todos ellos reflejan un patrón común, que abarca la siguiente distribución geográfica:

- En general, aparición generalizada en la mitad norte a altitudes inferiores a 800 m, y poca introducción desde la zona media hacia el sur.
- Navarra húmeda del noroeste: Cinco Villas, Baztán, cuenca del Bidasoa y norte de la sierra de Aralar.
- Navarra media occidental, principalmente zona de la Barranca. No está presente en Urbasa, Andía y Loquiz (altitudes no superiores a los 700 m).
- Valle del Arga hasta comienzo de la Ribera estellesa.
- Cuenca de Pamplona en su totalidad.

En cuanto a las características diferenciales de cada modelo, la variabilidad está generalmente en los valles pre-pirenaicos y la Navarra media oriental, evitando en todos los casos las sierras de Leyre y de Alaiz. Finalmente, los modelos menos selectivos predicen también probabilidades medias en los valles de los ríos principales hasta su desembocadura en el Ebro.

Por otra parte, de cara a utilizar esta herramienta para una gestión y control eficientes del avispon asiático en Navarra, es necesario seleccionar aquel modelo que más información y más ajustada a la realidad proporcione, siguiendo criterios objetivos y atendiendo al conocimiento del comportamiento biológico de la especie. A continuación se describen algunos de los parámetros (superficie afectada, AUC, etc) tenidos en cuenta a la hora de seleccionar este modelo óptimo.

A la hora de valorar cada modelo, el conocimiento previo de la ecología de la especie a modelizar es importante porque puede orientar en cuanto a las variables a seleccionar, etc; pero también el propio software ofrece herramientas (AUC, gain) que guían para decidir sobre un modelo u otro. En este caso, el análisis de los parámetros estadísticos y de la superficie afectada servirá para seleccionar el modelo considerado óptimo.

Resumen de parámetros numéricos:

Modelo	AUC (Entrenamiento)	AUC (Test)	Regularized Training GAIN	Nº Variables	Citas Entrenamiento	Citas Test	Total citas
Modelo 1	0.939	0.929	1.840	19	327	109	436
Modelo 2	0.956	0.939	2.010	10	330	109	439
Modelo 3	0.958	0.946	2.087	11	327	109	436
Modelo 4	0.953	0.936	1.970	10	327	109	436
Modelo 5	0.949	0.944	1.860	10	279	93	372
Modelo 6	0.970	0.965	2.448	10	130	43	173
Modelo 7 R:0,5	0.959	0.941	1.983	10	279	93	372
Modelo 7 R:1	0.944	0.942	1.789	10	279	93	372
Modelo 7 R:1,5	0.945	0.943	1.793	10	279	93	372
Modelo 7 R:3	0.938	0.942	1.685	10	279	93	372

Tabla 4. Resumen de parámetros numéricos

En la tabla anterior se presentan algunos de los estadísticos que definen cada modelo, como son el AUC (*Area Under Curve*), el *gain* ocasionado por los datos de entrenamiento, el número de variables y de citas utilizadas en cada caso. En este caso, todos los modelos obtenidos para distribución de *Vespa velutina* dan como resultado un valor de AUC muy alto (superior a 0.90) e incluso en algunos casos (Modelos 2, 3, 4, 6 y 7-R0.5) superior a 0.95. En esta situación no se puede afirmar que ninguno de los modelos sea inadecuado para la predicción de la distribución, por lo que no se descarta ninguno de los modelos. Dicho esto, el modelo 6 es el que presenta mayor valor de AUC (0.970).

Por otra parte, dado que conocemos que los 4 primeros modelos son pruebas realizadas para la selección de variables y que es a partir del 5 cuando comienzan a obtenerse modelos más adecuados, se descartan los primeros 4 modelos en la selección del óptimo.

Superficie afectada

Tras la primera criba se procede a analizar otro parámetro nos puede interesar analizar para el caso de *Vespa velutina*: la superficie afectada para las 11 clases de probabilidad.

La variabilidad de la distribución geográfica presentada por los distintos modelos difiere ligeramente entre unos modelos y otros, y como se ha comentado, mantiene un patrón geográfico que se repite para todos los casos, lo que da robustez al método de predicción. El análisis de las superficies afectadas contribuye a detectar las diferencias entre unos modelos y otros:

Superficie Afectada (km ²)											
CLASIF.	PROBAB.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7 R:0,5	Modelo 7 R:1	Modelo 7 R:1,5	Modelo 7 R:3
0	0 - 0,05	7.173,59	8.305,79	8.511,29	8.229,72	7.719,97	8.712,79	8.111,86	7.493,25	7.474,62	7.115,97
1	0,05 - 0,1	989,75	708,68	619,70	677,90	921,40	701,57	777,07	984,34	1.006,83	1.077,33
2	0,1 - 0,2	1.059,28	573,04	530,42	562,42	671,68	515,71	578,43	717,69	750,35	884,49
3	0,2 - 0,3	485,65	283,82	271,02	340,04	362,94	174,28	305,31	411,81	383,51	484,28
4	0,3 - 0,4	200,14	154,17	158,50	197,63	243,66	82,18	210,72	279,91	269,78	269,58
5	0,4 - 0,5	107,92	105,00	91,27	130,09	155,53	45,34	135,64	158,70	163,93	163,78
6	0,5 - 0,6	124,00	82,45	60,48	85,53	106,24	27,36	85,60	108,88	112,84	123,66
7	0,6 - 0,7	79,83	61,96	44,60	55,77	76,10	20,39	60,64	80,39	85,70	106,01
8	0,7 - 0,8	62,13	31,78	22,89	29,75	45,80	24,95	36,34	69,19	54,41	73,80
9	0,8 - 0,9	33,82	9,84	6,89	8,24	13,58	12,02	14,68	13,21	14,99	18,26
10	0,9 - 1	1,28	0,86	0,32	0,31	0,48	0,80	1,10	0,00	0,43	0,21
Total superf.	0 - 1	10.317,37	10.317,37	10.317,37	10.317,37	10.317,37	10.317,37	10.317,37	10.317,37	10.317,37	10.317,37
Superf (km²) P < 0,05	0 - 0,5	7.173,59	8.305,79	8.511,29	8.229,72	7.719,97	8.712,79	8.111,86	7.493,25	7.474,62	7.115,97
Superf (km²) P > 0,7	0,7 - 1	97,23	42,47	30,10	38,30	59,86	37,76	52,11	82,40	69,83	92,27

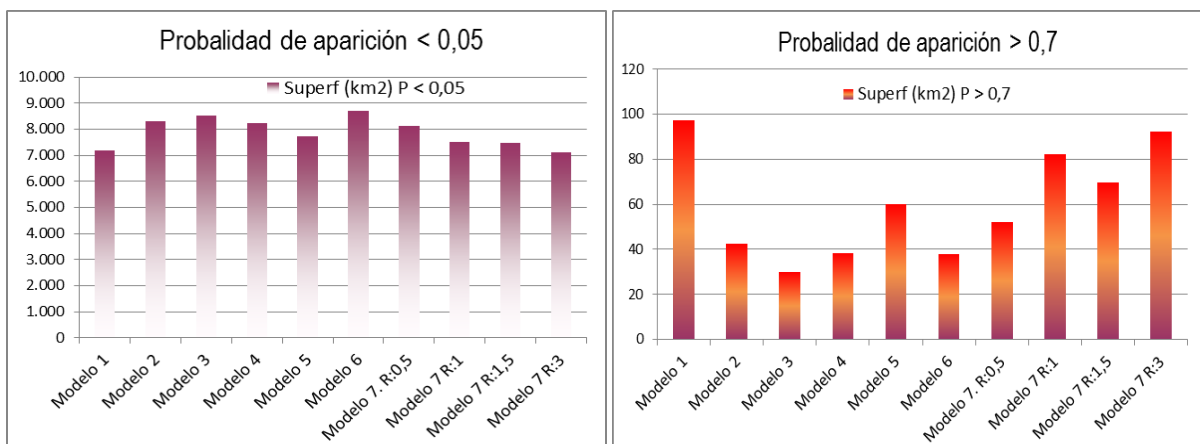
Tabla 5. Superficies afectadas

La superficie total del raster devuelto por Maxent para Navarra es de 10.317 km². Se ha calculado la superficie afectada para cada una de las 11 categorías de probabilidad indicadas anteriormente; la superficie con valor de probabilidad inferior a 0.05 (valores representados en color blanco en el mapa) está en torno a un 80% (8.000 km²) en todos los modelos. Valores altos para esta categoría implican que el modelo ha descartado una mayor área como idónea para la especie; en este caso, el modelo que más superficie descarta es el 6 (8.712,79 km²), mientras que el que menos superficie desestima es el modelo 7 R:3 (7.115,97 km²).

Por otra parte, también se ha calculado la suma de las superficies con probabilidad superior a 0.7, lo cual da idea del área que se podría considerar como "Zona de Alto riesgo" de aparición de avispon. En este sentido, destacar que el modelo 3 y el 6 son los que menor zona de alto riesgo abarcan (30,10 y 37,76 km² respectivamente), mientras que el 1 y el 5 son los que predicen una zona de elevado riesgo mayor. Esto se debe probablemente a que en el modelo 1, las capas de información de partida tenían un tamaño de celda superior (786 m/pixel), lo cual aporta una menor definición al modelo para las zonas de alto riesgo; el modelo 7-R:3 por

su parte, incorpora el factor de regularización más alto, lo que hace que provoca un aumento en la superficie afectada para todas las categorías de probabilidad respecto a la mayoría de modelos.

Las gráficas siguientes muestran los resultados comentados:



Selección del modelo óptimo

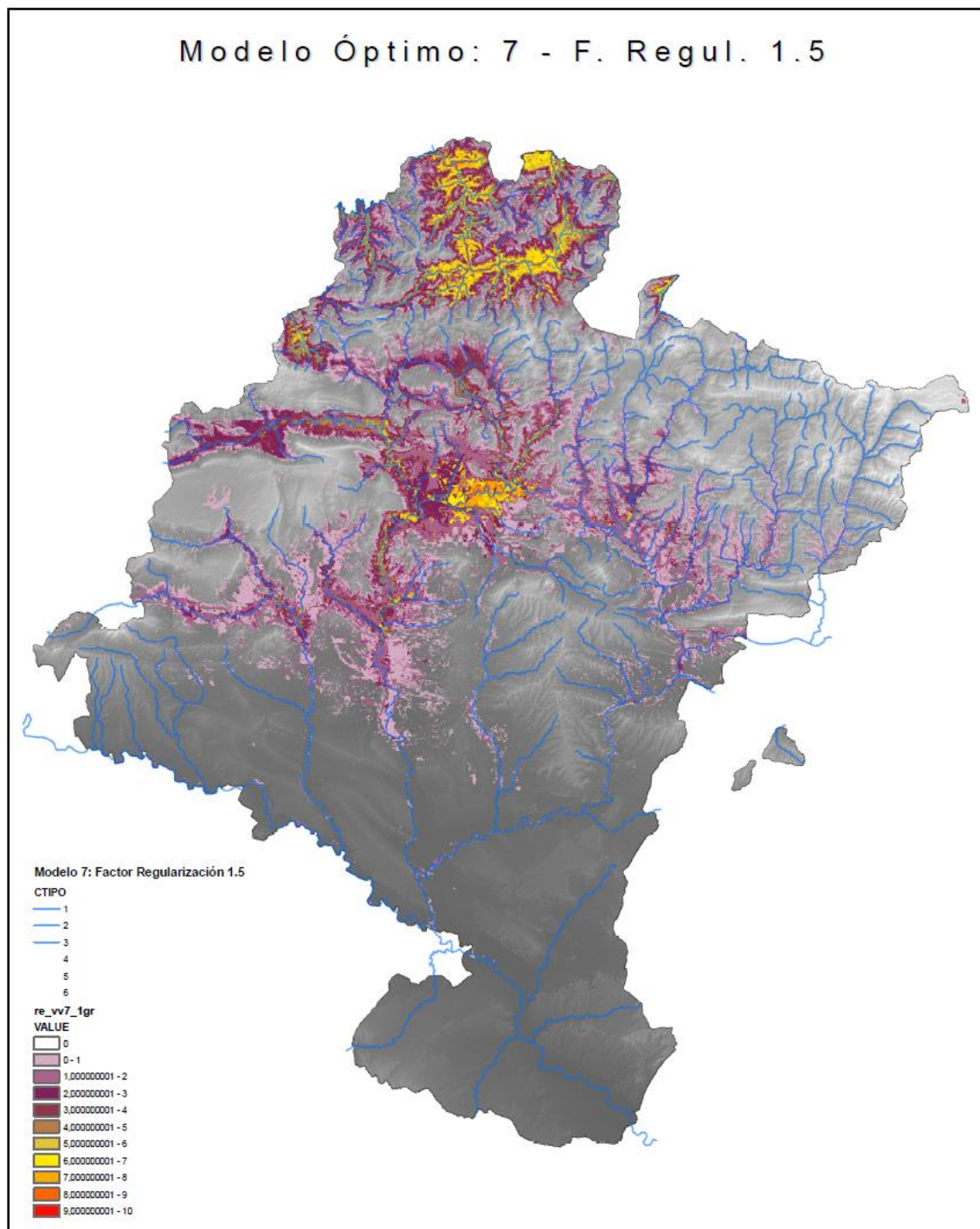
El propósito último de la modelización es utilizar este modelo para la gestión de las EELs por parte del Departamento de Medioambiente, lo que implica disponer de un archivo en formato de capa legible con un gestor de información geográfica como ArcGis que posibilite explotar al máximo los datos de distribución geográfica y cruzarlos con otras capas e información de interés.

Como se ha comentado anteriormente, los 4 primeros modelos se consideran pruebas no optimizadas sino de selección de variables, por lo que se descartan estos. Atendiendo a los parámetros estadísticos (AUC, etc) cualquiera de ellos podría considerarse válido. Sin embargo, para el caso que nos ocupa se considera adecuado seleccionar un modelo poco “conservador” desde el punto de vista de la superficie, es decir, que prediga una zona afectada grande para disminuir las posibles omisiones (zonas reales de probabilidad alta de aparición interpretadas por el modelo como zonas de probabilidad baja).

En este sentido, se considera que los modelos 7-R:1.5 y 7-R:3, que corrigen el posible sobreentrenamiento del modelo incorporando un valor de Regularización por encima del valor por defecto (1), están obtenidos a partir de las 10 variables preseleccionadas y de los datos filtrados geográficamente, son los que mejor pueden representar la distribución geográfica potencial del modelo.

Y siendo estos 2 modelos los mejores, finalmente se selecciona el **Modelo 7 con factor de Regularización 1.5**, ya que predice una zona de riesgo considerable, pero no introduce una modificación excesiva de los datos a través de la introducción de este factor, como lo haría el de Factor 3.

A continuación se muestra el mapa de distribución geográfica potencial predicha por el modelo seleccionado:



MODELO ÓPTIMO: Modelo 7 con Factor de Regularización = 1,5.

TAREA 5. Extracción de información específica para la gestión medioambiental

El cruce del modelo predictivo obtenido con otras capas de información disponibles desde el Departamento (municipios, catastro, localizaciones de explotaciones apícolas, etc) permite la aplicación de medidas de gestión para la implantación de la estrategia de lucha contra las especies invasoras, en este caso contra *Vespa velutina*. Dentro de las distintas aplicaciones que pueden obtener del modelo predictivo se exponen a continuación los casos desarrollados en el presente trabajo:

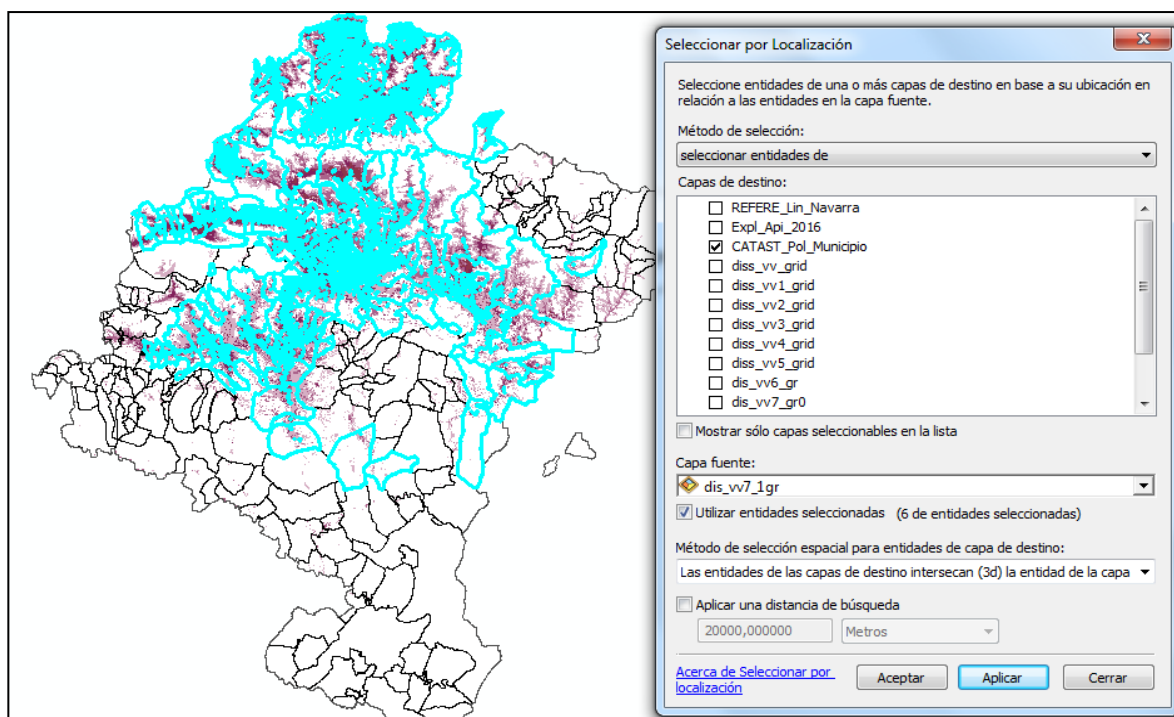
1. Coordinación de entidades en el sistema de Alerta Temprana: afectación sobre municipios

La coparticipación en la detección y traspaso informativo resultan claves para la lucha conjunta contra una invasión biológica. Conscientes de esta importancia, el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras, se crea la *Red de Alerta para la Vigilancia de Especies Exóticas Invasoras*. Los puntos focales que conforman esta Red deben informar de forma temprana a la oficina de coordinación de la presencia de nuevos focos o poblaciones de especies exóticas invasoras.

A su vez dentro de cada territorio, en este caso dentro de la Comunidad Foral, resulta fundamental el contacto con aquellas entidades municipales en las que puede darse prioritariamente la presencia de la especie, lo que permite una vigilancia preventiva, una detección más rápida y toma de medidas temprana, facilitando además la comunicación social del problema.

Con el fin de facilitar el contacto con las administraciones municipales prioritarias en esta estrategia de alerta temprana, se crea en ArcGis una capa específica de Municipios con mayor riesgo de afección. La capa representa los municipios de Navarra con mayor riesgo, estableciéndolos en 3 categorías de probabilidad (P) de aparición superior a 0.4.

Se lleva a cabo una selección por localización, seleccionando en la Tabla de atributos cada categoría de riesgo, que ha sido asignada previamente en un Nuevo campo a partir de los valores del raster arrojado por Maxent.

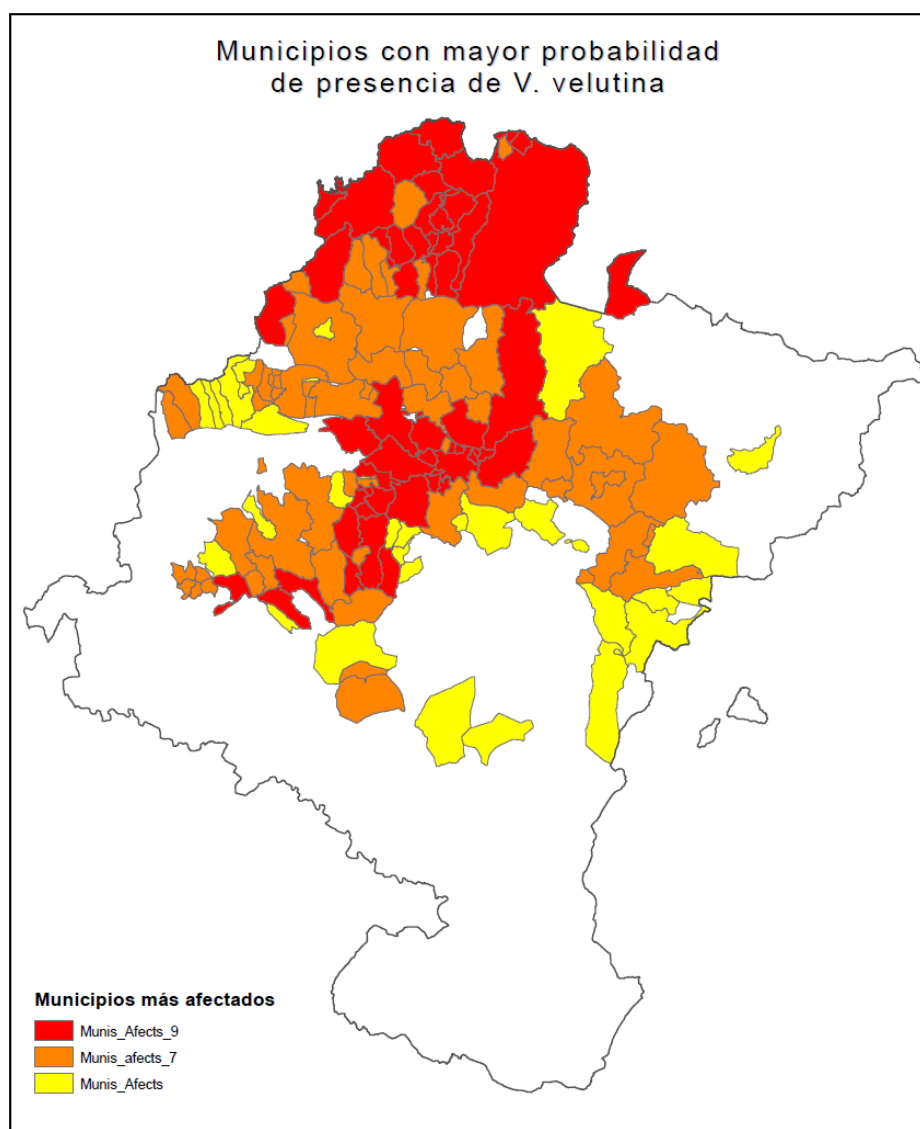


En este sentido se estima que de los 342 municipios de Navarra, 138 están en zona de riesgo con un valor de clasificación de 5 o más ($P > 0.4$); de ellos, 107 con un valor de 7 o superior ($P > 0.6$); y de ellos, 51 con un valor de 9 o superior ($P > 0.8$).

FID	Shape	FEATURE	CMUNICIPIO	MUNICIPIO	GEOM_AREA	GEOM_PERI	BEGINLIFE
0	Polígono	200020	1	Abizgar	4953435,19	11075,49	21/04/2017
1	Polígono	200020	2	Abizruza <-> Abartzuza	14664559,39	24449,88	21/04/2017
2	Polígono	200020	3	Abaurregaina/Abaurrea Alta	20903807,14	33400,75	21/04/2017
3	Polígono	200020	4	Abaurrepea/Abaurrea Baja	11107631,13	32356,55	21/04/2017
4	Polígono	200020	5	Aberin	21132599,3	26260,53	21/04/2017
5	Polígono	200020	6	Abiltas	77412009,78	45531,3	21/04/2017
6	Polígono	200020	7	Adiós	8354958,86	14931,62	21/04/2017
7	Polígono	200020	8	Aguilar de Codus	18623273,78	22779,51	21/04/2017
8	Polígono	200020	9	Aibar <-> Oibar	47947168,07	37680,51	21/04/2017
9	Polígono	200020	10	Altsasu/Alsasua	26804993,77	27680,55	21/04/2017
10	Polígono	200020	11	Allón <-> Allin	43003748,38	37940,9	21/04/2017
11	Polígono	200020	12	Allo	36264725,25	28107,76	21/04/2017
12	Polígono	200020	13	Am/scoa Baja	46834051,76	38970,77	21/04/2017
13	Polígono	200020	14	Antzin <-> Antzin	8802781,05	19063,43	21/04/2017
14	Polígono	200020	15	Andosilla	51509369,32	41988,94	21/04/2017
15	Polígono	200020	16	Ansoain <-> Antsoain	1908383,16	6119,15	21/04/2017
16	Polígono	200020	17	Anue	61467676,05	47262,21	21/04/2017
17	Polígono	200020	18	Aitorbe	24091784,25	22850,31	21/04/2017
18	Polígono	200020	19	Aiz <-> Agoitz	13132025,04	23290,91	21/04/2017
19	Polígono	200020	20	Araitz	39432427,29	29915,78	21/04/2017
20	Polígono	200020	21	Aranarache <-> Aranaraxe	5072873,06	10171,08	21/04/2017
21	Polígono	200020	22	Aranza	30237816,38	23125,29	21/04/2017
22	Polígono	200020	23	Aranguren	40541928,91	34912,9	21/04/2017
23	Polígono	200020	24	Arano	13300912,06	25420,21	21/04/2017
24	Polígono	200020	25	Arakil	52505567,7	44082,98	21/04/2017
25	Polígono	200020	26	Aras	17901922,64	17505,52	21/04/2017
26	Polígono	200020	27	Arbizu	14312349,72	28987,55	21/04/2017
27	Polígono	200020	28	Arce <-> Artzi	146356168,9	80408,63	21/04/2017
28	Polígono	200020	29	Los Arcos	57194906,04	39738,29	21/04/2017
29	Polígono	200020	30	Arellano	16802873,77	27717,41	21/04/2017
30	Polígono	200020	31	Areso	12018900,88	15887,04	21/04/2017
31	Polígono	200020	32	Arguedas	66423861,96	37820,27	21/04/2017
32	Polígono	200020	33	Aria	8182806,64	16537,22	21/04/2017
33	Polígono	200020	34	Aribe	4321121,8	13482,41	21/04/2017
34	Polígono	200020	35	Armañanzas	12267509,56	24630,62	21/04/2017
35	Polígono	200020	36	Arróniz	55188728,12	33286,16	21/04/2017
36	Polígono	200020	37	Arruazu	5733335,89	18775,91	21/04/2017
37	Polígono	200020	38	Arriaga	5896121,6	3558,16	21/04/2017

(138 de 342 Seleccionado)

CATAST_Pol_Municipio



A pesar de la precisión de los datos de partida y de lo ajustado del modelo, es importante tener en cuenta que las zonas de baja probabilidad no se deben entender como zonas con probabilidad cero, y debe mantenerse en ellas una red de alerta que pueda detectar nuevas apariciones de la especie. Por ello, la *Estrategia de gestión, control y posible erradicación del avispon asiático en España* recomienda el seguimiento de la especie en dos niveles: 1) una red de alerta activa de máxima prioridad en los municipios cuyos valores de probabilidad de aparición son más altos; en este caso se propone establecer como umbral, una probabilidad de 0.4 para esta red; 2) una segunda red de control, en el resto del territorio.

Como consecuencia de este procedimiento se garantiza el contacto de forma diferencial con los municipios afectados, primeramente para facilitarles información específica sobre este tema a priori desconocido y solicitar un esfuerzo de vigilancia temprana en base a unas pautas que permitiesen la detección de la presencia de avispones.

2. Establecimiento de vigilancia especial de puntos rojos: detección en choperas

El seguimiento de *Vespa velutina* en Navarra desde su aparición en 2010 ha permitido al DMADRYAL generar un importante conocimiento del comportamiento de la especie en la región. Uno de estos aspectos es que el avispon tiene preferencias a la hora de elegir apoyo en el que instalar los nidos. Aunque en numerosos casos se asienta dentro de edificios o construcciones, generalmente desarrolla los nidos en copas de árboles (60 – 80%) y arbustos, siendo los más elegidos los del género *Populus*, principalmente chopos.

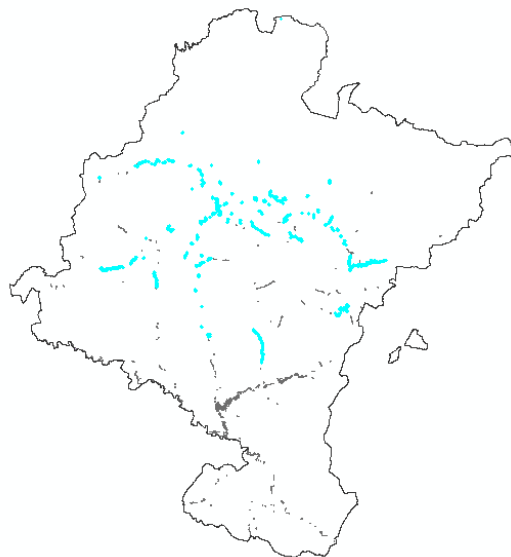
Así por tanto, la vigilancia de forma prioritaria dentro de las zonas de mayor probabilidad identificadas en el modelo predictivo obtenido de aquellas choperas maduras y en particular a una altura de 10 a 15 m. sobre el suelo, por parte de personal especializado (Guarderío Forestal), facilita la localización de nidos más rápidamente. Hay que señalar que dos o tres semanas en el adelanto en la detección del nido puede suponer la posibilidad de la eliminación de nido antes del momento de dispersión de las avispas fundadoras, y por tanto reducir fuertemente la capacidad de propagación.

Para seleccionar e identificar estos puntos de trabajo y suministrar indicaciones al guarderío, se ha elaborado una nueva capa de información específica que contiene las choperas situadas en zonas de alto riesgo de aparición de la especie, clasificadas en 3 categorías en función de la probabilidad de aparición ($P > 0.4$, $P > 0.6$ y $P > 0.8$).

Los polígonos correspondientes a choperas se han obtenido del MCA2012, el mismo utilizado para la creación de la capa descrita en el apartado 10. Material y métodos, que contiene la información de los polígonos a nivel de especie.

Mediante el cruce de estos polígonos en ArcGis con el Modelo óptimo elegido se obtiene, a través de la herramienta "Selección por localización", un *shape* de choperas clasificadas en función del riesgo en las 3 categorías descritas.

Esta capa permite seleccionar zonas de control en las que llevar a cabo el rastreo de la población, en concordancia con la idoneidad prevista para cada zona.





Además, como cualquier *shape* de polígonos, es posible cargar esta capa en Google Earth Pro y exportar el archivo *.kmz* a cualquier dispositivo móvil, lo que permite visualizar directamente en campo la ubicación de las chopas, lo cuál facilitaría la localización y el seguimiento de las zonas por parte del personal del guarderío forestal.

Vista en Google Earth Pro de la capa de chopas situadas en zonas de alto riesgo:



3. Atención a particulares: afección sobre explotaciones apícolas

Una de las mayores preocupaciones ante la presencia de una especie exótica es el control de los daños que puede hacer y la forma en la que se pueden plantear acciones específicas para evitarlos o paliarlos.

En el caso de *Vespa velutina*, las explotaciones apícolas son uno de los sectores más vulnerable y que serán afectados a corto plazo debido a la expansión del avisón, especie que ejerce depredación sobre las abejas para dar alimento a sus larvas durante la época de cría. Al igual que en el caso de los municipios afectados, se ha estimado el riesgo para las colmenas de Navarra, tanto de explotaciones apícolas profesionales como de colmenares de particulares. La apicultura es una actividad ganadera que se considera profesional cuando la explotación tiene más de 150 colmenas, dependiente por tanto del área de Desarrollo Rural, Agricultura y Ganadería.

La capacidad de contar con información del riesgo asociado a la localización de cada colmena dota al Departamento con una herramienta de anticipación a la hora de tomar medidas que afecten a los apicultores. Con este fin se ha elaborado una capa específica de información de Riesgo de aparición de *Vespa velutina* asociado a la localización de los colmenares. Para ello se han cruzado en ArcGis la capa de polígonos de riesgo obtenida a partir del modelo óptimo, con la capa de localizaciones de colmenas; inicialmente se extrae el valor de probabilidad desde el raster para las localizaciones de las colmenas (herramienta "Extraer valores según puntos"), y posteriormente se hace una clasificación en función del riesgo mediante script de Python en la Calculadora de campos.

Como resultado se obtiene una nueva capa de puntos en la cuál cada ubicación de cada colmena lleva asociado un valor de probabilidad de aparición. Dichos valores de probabilidad se transforman nuevamente en 7 clases de riesgo, de muy bajo a muy alto, tal y como sigue:

- Muy alto (>0.75)
- Alto (0.65 - 0.75)
- Medio - Alto (0.55 - 0.65)
- Medio (0.45 - 0.55)
- Medio - Bajo (0.3 - 0.45)
- Bajo (0.05 - 0.3)
- Muy bajo (<0.05)

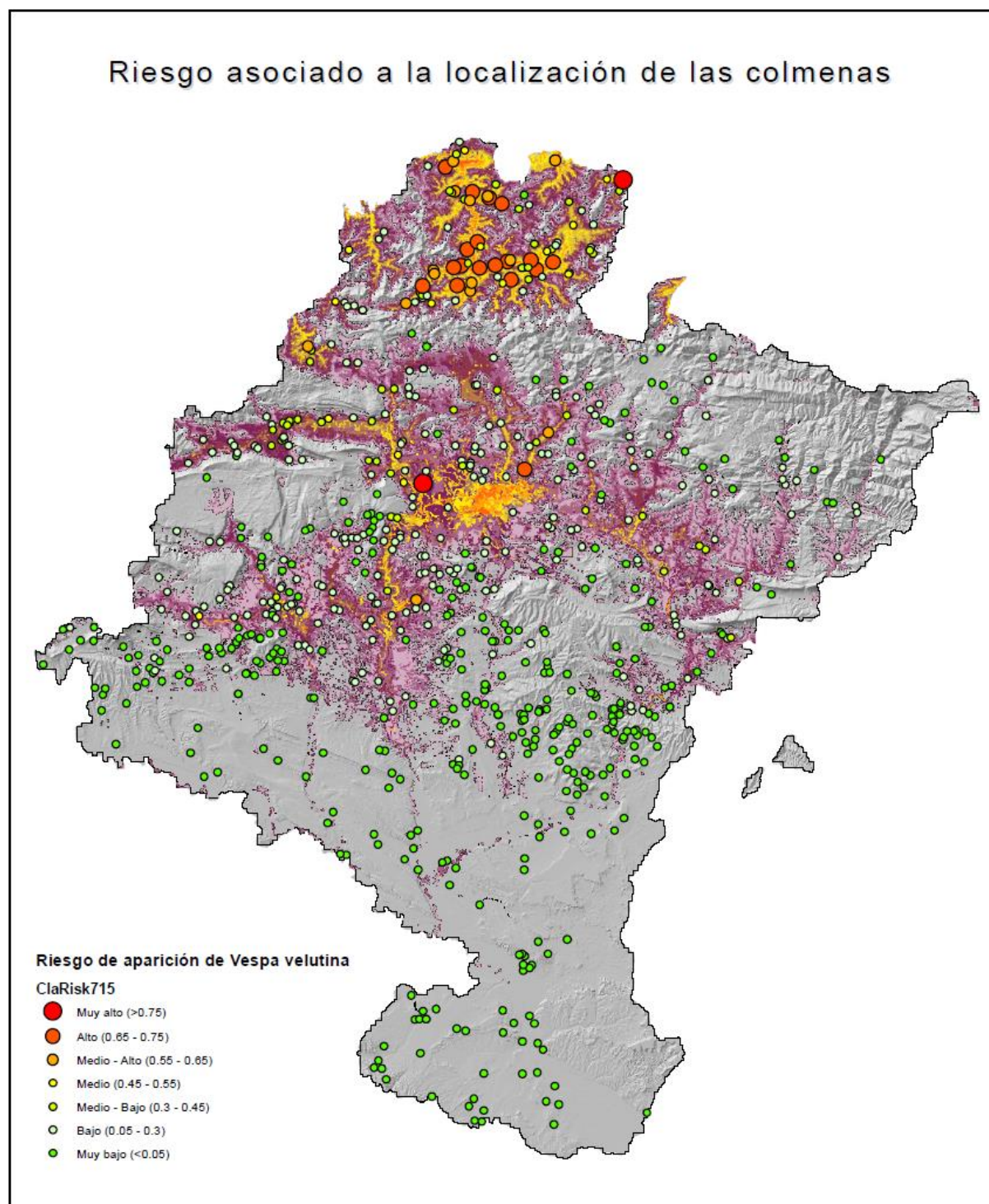
De los 706 colmenares registrados en Navarra, 19 de ellos quedarían afectados con valores de probabilidad superiores a 0,65 y uno superior a 0,75. A su vez, 357 registros de colmenares quedarían en zona de riesgo considerado Muy bajo (valor de probabilidad de aparición inferior a 0,05), un 50,6% de las explotaciones o ubicaciones apícolas registradas.

Finalmente se obtiene que un listado de aquellos apicultores cuyas explotaciones se encuentran en zonas más vulnerables:

Ello ha permitido un contacto directo con las personas que pudieran resultar potencialmente más afectadas tanto para estimar los daños que se producen como para sugerir medidas de protección tales como la colocación de "trampas dulces", o el traslado de las colmenas a puntos de menor riesgo.

Como se ha comentado, la mayoría de los colmenares están en zonas de bajo riesgo, mientras que sólo 20 de ellas estarían establecidas en zonas de riesgo más alto, vista que se puede observar claramente en el siguiente mapa:

FID	Shape *	ID	cod exp	RASTERVALU	Risk_715	ClaRisk715
125	Punto	126	050NA764	-9999	6	Muy alto (>0.75)
476	Punto	477	193NA104	0.805908	6	Muy alto (>0.75)
19	Punto	20	011NA126	0.696993	5	Alto (0.65 - 0.75)
116	Punto	117	050NA564	0.740888	5	Alto (0.65 - 0.75)
118	Punto	119	050NA650	0.724543	5	Alto (0.65 - 0.75)
119	Punto	120	050NA655	0.66423	5	Alto (0.65 - 0.75)
120	Punto	121	050NA710	0.683213	5	Alto (0.65 - 0.75)
133	Punto	134	050NA778	0.748595	5	Alto (0.65 - 0.75)
152	Punto	153	054NA117	0.687383	5	Alto (0.65 - 0.75)
209	Punto	210	082NA119	0.710457	5	Alto (0.65 - 0.75)
210	Punto	211	082NA120	0.676643	5	Alto (0.65 - 0.75)
211	Punto	212	082NA120	0.728525	5	Alto (0.65 - 0.75)
218	Punto	219	087NA003	0.6921	5	Alto (0.65 - 0.75)
255	Punto	256	098NA159	0.654358	5	Alto (0.65 - 0.75)
337	Punto	338	129NA122	0.685724	5	Alto (0.65 - 0.75)
396	Punto	397	153NA162	0.655623	5	Alto (0.65 - 0.75)
550	Punto	551	221NA128	0.655934	5	Alto (0.65 - 0.75)
557	Punto	558	226NA115	0.695275	5	Alto (0.65 - 0.75)
558	Punto	559	226NA116	0.693698	5	Alto (0.65 - 0.75)
687	Punto	688	263NA106	0.700552	5	Alto (0.65 - 0.75)
128	Punto	129	050NA769	0.614553	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
149	Punto	150	054NA116	0.6237	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
155	Punto	156	055NA121	0.60793	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
205	Punto	206	081NA112	0.589106	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
222	Punto	223	090NA103	0.585786	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
257	Punto	258	098NA179	0.578773	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
353	Punto	354	137NA109	0.630943	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
395	Punto	396	153NA062	0.632932	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
461	Punto	462	183NA800	0.632098	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
549	Punto	550	221NA128	0.64876	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
621	Punto	622	239NA014	0.595907	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
638	Punto	639	250NA057	0.593655	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
667	Punto	668	259NA129	0.55902	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
686	Punto	687	263NA047	0.559936	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
688	Punto	689	263NA108	0.569891	4	Medio - Alto (0.55 - 0.65)
31	Punto	32	014NA800	0.526531	3	Medio (0.45 - 0.55)



Este mapa de riesgos para los colmenares de Navarra permite diseñar una respuesta específica en función de la localización de las colmenas. Una de las soluciones que ya se está llevando a cabo en Gipuzkoa y se está implantando en Navarra pasa por el traslado de las colmenas a zonas cercanas de mayor altitud (por encima de los 650 m). Esta medida es asequible en la mitad norte de Navarra. Sin embargo puede resultar problemática en las zonas más al sur, en que la orografía no ofrece cambios acusados de altitud en grandes extensiones del territorio. Sin embargo, a la luz de los resultados del modelo, el riesgo en la mitad sur es muy bajo, lo que implica que no sería necesario reubicar las colmenas de la parte meridional, y esta medida sería innecesaria.

12. Conclusiones

Sin duda, las especies invasoras suponen un problema creciente en un mundo cada vez más globalizado y en muchos casos, de difícil solución. Los problemas que causan son en principio ambientales, pero no únicamente en aspectos específicos de conservación, ya de por sí importantes, sino también en aspectos de gestión de nuestro medio rural, con claras repercusiones en la economía, la sanidad, etc. Se prevé que el impacto que van a generar, bien por daños o por inversiones para evitarlos, alcanzará durante los próximos años el 1,5% del PIB.

Atendiendo a esta necesidad, y con el fin de evitar consecuencias ambientales y económicas altamente negativas, las autoridades competentes de cada país ponen los medios oportunos para controlar en la medida de lo posible este problema. De este modo, la legislación a nivel europeo y nacional se está adaptando para hacer frente a la irrupción de nuevas especies exóticas con comportamiento invasor respecto de la fauna y flora autóctonas de un territorio, promoviendo para ello la creación estructuras de trabajo y estrategias de actuación específicas.

Además de las campañas de sensibilización de la población, campañas de erradicación y planes de contingencia, puede resultar fundamental contar con herramientas potentes que permitan aumentar la eficiencia y la rapidez de respuesta de los territorios asaltados por invasiones biológicas. Dado que estas EEIs se caracterizan precisamente por su capacidad de reproducción y dispersión mayor que las autóctonas, la Alerta Temprana y la Erradicación Temprana constituyen un elemento clave en cualquier plan de contingencia contra la expansión.

En este sentido, los modelos de distribución de especies (MDE), por su capacidad predictiva, adquieren un peso significativo como herramienta de gestión para las Administraciones, ya que, como se ha visto a lo largo del presente trabajo, permiten estimar con mayor precisión los posibles riesgos, y en base a ese conocimiento, actuar en consecuencia.

Sin embargo el desarrollo de MDE como herramienta no es a menudo fácil, y su aplicabilidad al territorio depende de diversos factores como: la forma de obtención de los datos de campo, la disposición de información de diversa índole (climática, edafológica, de ocupación del territorio...), la elección del programa que se adapta a los fines predictivos, y la definición de diversos parámetros que influyen sobre la manera de procesar los datos por parte dicho programa; estos factores deben tenerse en cuenta según la las características de cada territorio. El presente trabajo pretende precisamente explorar estas dificultades para poner a punto esta herramienta y facilitar su aplicabilidad en Navarra.

Para este trabajo se ha tomado como referencia una de las especies de entrada más reciente y que mayor repercusión social está teniendo, *Vespa velutina*, de la que se cuenta con un buen repositorio de datos e información sobre sus localizaciones, desde su entrada en Navarra en 2010 hasta mediados de 2017.

En total se han obtenido 11 MDE para esta especie mediante el software Maxent, tratando de refinar cada modelo respecto de los anteriores ajustando distintos parámetros como: selección de variables independientes, filtrado de datos de localizaciones e incorporación de un factor de Regularización. Todos ellos arrojan un modelo que sigue un patrón más o menos similar a lo largo y ancho del territorio, con pequeñas variaciones; Por ello, a grandes rasgos, varios de ellos se podrían haber utilizado como modelo óptimo. En este caso se ha seleccionado el modelo obtenido en la prueba 7 con FR 1.5, por presentar un patrón bien distribuido y que corrige el posible sobreentrenamiento de los datos, pero sin alterar en exceso la distribución a causa de esta corrección.

Los mapas de modelización obtenidos para *Vespa velutina* han permitido determinar que, lejos de las previsiones iniciales, la zona poco apta para esta especie alcanzará al menos el 70 % del territorio navarro. Por el contrario, la zona realmente propicia no sobrepasará probablemente el 5 % del territorio.

Además, el MDE obtenido para *Vespa velutina* ha servido como soporte de la gestión del problema por parte del Departamento de Medioambiente, Desarrollo Rural y Administración Local del Gobierno de Navarra.

En primer lugar, el modelo posibilita identificar las zonas de mayor riesgo, lo que permite al Departamento incidir en la comunicación con los ayuntamientos afectados, e intensificar en ellos las estrategias de detección. Se refuerza así la acción estratégica de Alerta Temprana desde los focos de aparición de una especie invasora,

establecida en el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.

Además, el MDE es un recurso útil que posibilita interactuar de forma eficiente también con particulares, en este caso, con los propietarios de las colmenas, bien sean profesionales o aficionados. El modelo permite asignar un nivel de probabilidad de aparición de *Vespa velutina* a las zonas en que están ubicadas las colmenas; así, es posible alertar con antelación a los apicultores con explotaciones en zonas de riesgo, y diseñar medidas de contingencia frente a posibles ataques. Una de las posibles soluciones pasa por el traslado de las colmenas a zonas cercanas de mayor altitud (por encima de los 650 m). Esta medida puede ser recomendable, necesaria y asequible en la mitad norte de Navarra, mientras que puede resultar innecesaria para todos los apicultores que tiene sus colmenas en la mitad sur.

Conclusiones generales sobre el proceso de modelización con Maxent

Aunque en el mercado existen diversas herramientas de modelización de presencia de especies, para los trabajos de predicción de invasión pueden ser más interesantes aquellos que no den una importancia fundamental a los datos de ausencia. En este sentido el programa Maxent, de manejo asequible, puede ser una herramienta útil para la modelización de especies invasoras en Navarra.

Como ya se ha comentado a lo largo del presente trabajo, la selección de variables ambientales, de los valores de entrada y la definición de parámetros durante el proceso de aplicación del algoritmo, condicionan el patrón de distribución geográfica estimado. Dadas las variaciones que se encuentran entre uno y otro modelo, y siguiendo las recomendaciones dadas para la interpretación de cualquier herramienta de estimación, los resultados obtenidos en estos modelos deben considerarse con prudencia. El conocimiento previo de la biología de la especie que se pretende modelizar contribuye a la hora de seleccionar las variables explicativas, y además, ante esta situación de múltiples respuestas se hace especialmente importante para la selección de un buen modelo ajustado a la realidad.

Respecto la utilización de Maxent como software de modelización, destacar que:

- Con el fin de posibilitar su aplicación práctica es necesario poner a punto una biblioteca de capas ráster de diversos parámetros básicos (climáticos, edafológicos, topográficos, etc), compatibles entre sí, es decir, con idénticas resolución espacial y extensión geográfica. En Navarra se cuenta afortunadamente con una buena base cartográfica, factor muy importante para la creación de archivos *ascii* de información compatible, que permitan su posterior aplicación en Maxent (o en otros programas similares); ha sido necesario realizar una biblioteca de capas a una resolución útil para la gestión en Navarra (píxel de 50x50 m). No obstante se ha facilitado el sistema de creación de otras nuevas capas complementarias que puedan necesitarse en virtud de la especie de que se trate. Así por tanto este trabajo puede servir de aplicación para otras EEI.
- Se ha comprobado que, a medida que aumenta el número de variables utilizadas, disminuyen las opciones para el software de encontrar ambientes similares, ya que hay escenarios más dispares; por ello, no conviene sobrecargar la lista de variables.
- Una deslocalización de los datos de entrada, o lo que es lo mismo, una disminución de la densidad de localizaciones, bien por filtrado geográfico o temporal, da como resultado una distribución más dispersa, menos localizada.
- La fiabilidad de los datos predictivos que se hagan depende de la capacidad discriminadora de los distintos parámetros que se reflejan en las capas. En este sentido Navarra, región naturalmente biodiversa, al presentar un amplio rango de temperaturas, de alturas, condiciones edafológicas, pluviosidad, etc, se constituye en un excelente laboratorio donde realizar experiencias de modelización.

Es importante recordar que, para todo modelo predictivo es necesario realizar posteriormente una interpretación de los datos obtenidos y analizar la coherencia de los resultados, debiendo hacer uso siempre que sea necesario, de nuevas variables, excluyendo otras, redefiniendo y ajustando los parámetros del modelo, y revisando los datos de localizaciones de partida.

En caso de obtener un modelo que se considera poco fiable o escasamente ajustado a la realidad, será necesario volver a analizar los datos empleando otras variables ambientales más concisas o afines a la especie.

Finalmente, resaltar que en el entorno de este trabajo se han realizado diversas pruebas de distribución para otros casos como el de mosquito tigre (*Aedes albopictus*), que, tras la aplicación de los parámetros de funcionamiento obtenidos para *Vespa velutina* en Maxent corrobora la sensación de capacidad predictiva.

13. Bibliografía

Artículos relacionados:

- Benito, B.M., n.d. IX Taller GBIF de Modelización de Nichos Ecológicos (sesión 1) Introducción y herramientas.
- Boletín Oficial del Estado, 2013. Catalogue of Spanish Invasive Species. 8565 185, 56764–56786. doi:BOE-A-2013-8565
- Booth, T.H., Nix, H.A., Busby, J.R., Hutchinson, M.F., 2014. Bioclim: The first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MaxEnt studies. *Divers. Distrib.* 20, 1–9. doi:10.1111/ddi.12144
- Chilena, R., Natural, D.E.H., 2011. Modelos de distribución de especies : Una revisión sintética Species distributions models : A synthetic revision 217–240.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Divers. Distrib.* 17, 43–57. doi:10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
- Guisan, A., Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modell.* 135, 147–186. doi:10.1016/S0304-3800(00)00354-9
- Hirzel, A.H., Le Lay, G., 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *J. Appl. Ecol.* 45, 1372–1381. doi:10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x
- Holt, R.D., 2009. Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: Ecological and evolutionary perspectives. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 19659–19665. doi:10.1073/pnas.0905137106
- Marcen, A., Sáez, L., Molowny-Horas, R., Pons, X., Pino, J., 2013. Using species distribution modelling to disentangle realised versus potential distributions for rare species conservation. *Biol. Conserv.* 166, 221–230. doi:10.1016/j.biocon.2013.07.001
- Mateo, R.G., Felicísimo, Á.M., Muñoz, J., 2012. Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*. Ser. Ecol. 5, 137–153.
- Peterson, a T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M.B., 2011. Ecological Niches and Geographic Distributions, Monographs in Population Biology. doi:10.5860/CHOICE.49-6266
- Scheldeman, X., van Zonneveld, M., Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas.
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.
- León, E., et al. “Ecología I: introducción. organismos y poblaciones”.

Bibliografía específica sobre Maxent:

- Steven J. Phillips. 2017. “A Brief Tutorial on Maxent”.
- Steven J. Phillips, Robert P. Anderson, Robert E. Schapire. 2006. “Maximum entropy modeling of species geographic distributions”. *Ecological Modelling*, 190:231-259, 2006.
- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. 2004. “A maximum entropy approach to species distribution modeling”. In *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, pages 655-662.
- Jane Elith, Steven J. Phillips, Trevor Hastie, Miroslav Dudík, Yung En Chee, and Colin J. Yates. 2011. “A statistical explanation of MaxEnt for ecologists”. *Diversity and Distributions*, 17:43-57.
- Corey Merow, Matthew J. Smith, and John A. Silander, Jr. 2013. “A practical guide to MaxEnt for modeling species’ distributions: what it does, and why inputs and settings matter”. *Ecography*, 36: 1058–1069.

Aleksandar Radosavljevic and Robert P. Anderson. 2014. "Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting, and evaluation". *Journal of Biogeography*, 41: 629–643.

Legislación:

EU, 2014. Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. *Off. J. Eur. Union* 317, 35–21.

Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras (EEIs).

14. ANEXOS

Anexo I: Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras

ANEXO			
	Especie	Ámbito de aplicación	Nombre común
	Algas		
1	<i>Acrothamnion preissii</i> (Sonder) Wollaston.		
2	<i>Asparagopsis armata</i> (Harvey, 1855).		
3	<i>Asparagopsis taxiformis</i> [(Delile) Trevisan de Saint-Léon, 1845].	Excepto Canarias.	
4	<i>Caulerpa racemosa</i> [(Forssk.) J. Agardh, 1873].	Excepto Canarias.	
5	<i>Caulerpa taxifolia</i> [(M.Vahl) C. Agardh, 1817].		
6	<i>Codium fragile</i> [(Suringar) Hariot, 1889].		
7	<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) M. Schmidt, 1899.		Didymo o moco de roca.
8	<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Ohmi) Papenfuss 1967.		
9	<i>Grateloupia turuturu</i> (Yamada, 1941).		
10	<i>Lophocladia lallemandii</i> (Montagne) F. Schmitz 1893.		
11	<i>Sargassum muticum</i> [(Yendo) Fensholt, 1955].		
12	<i>Styopodium schimperi</i> [(Buchinger ex Kützinger) Verlaque & Boudouresque, 1991].		
13	<i>Womersleyella setacea</i> (Hollenberg) R. E. Norris 1992.		
	Flora		
14	<i>Cotula coronopifolia</i> L.	Baleares.	Cotula.
15	<i>Pennisetum villosum</i> R. Br. ex Fresen.	Baleares.	Rabogato albino.
16	<i>Ipomoea indica</i> (Burn).	Canarias y Baleares.	Campanilla morada, batatilla de Indias.
17	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.	Canarias y Baleares.	Quicuyo.
18	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Canarias.	Acacia, aromo, carambuco, mimosa.
19	<i>Acacia salicina</i> Lindl.	Canarias.	Acacia de hoja de sauce.
20	<i>Ageratina adenophora</i> (Spreng.) King & H. Rob.	Canarias.	Matoespuma.
21	<i>Ageratina riparia</i> (Regel) R. M. King & H. Rob.	Canarias.	Matoespuma fino.
22	<i>Arbutus unedo</i> L.	Canarias.	Madroño.
23	<i>Arundo donax</i> L.	Canarias.	Caña, cañavera, bardiza, caña silvestre.
24	<i>Atriplex semilunaris</i> Aellen.	Canarias.	Amuelle.
25	<i>Calotropis procera</i> (Aiton) W. T. Aiton.	Canarias.	Algodón de seda.
26	<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC.	Canarias.	Hierba de San Jorge.
27	<i>Cyrtomium falcatum</i> (L. f.) C. Presl.	Canarias.	Helecho acebo.
28	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link.	Canarias.	Retama negra.
29	<i>Eschscholzia californica</i> Champ.	Canarias.	Amapola de California, dedal de oro.
30	<i>Furcraea foetida</i> (L.) Haw.	Canarias.	Pitera abierta.
31	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) De wit.	Canarias.	Aromo blanco.
32	<i>Maireana brevifolia</i> (R. Br.) P. G. Wilson.	Canarias.	Mato azul.
33	<i>Nassella neesiana</i> (Trin. & Rupr.) Barkworth.	Canarias.	Flechilla.
34	<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.	Canarias.	Pasto de elefante.
35	<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Canarias.	Palmera datilera.
36	<i>Ricinus communis</i> L.	Canarias.	Tartaguero.
37	<i>Spartium junceum</i> L.	Canarias.	Retama de olor.
38	<i>Ulex europaeus</i> L.	Canarias.	Tojo.
39	<i>Acacia dealbata</i> Link.	Excepto Canarias y Baleares.	Mimosa, acacia, acacia francesa.
40	<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (L.) L. Bolus.	Excepto Canarias.	Hierba del cuchillo, uña de gato, uña de león.
41	<i>Cortaderia</i> spp.	Excepto Canarias.	Hierba de la pampa, carrizo de la pampa.
42	<i>Opuntia stricta</i> (Haw.).	Península Ibérica y Baleares.	Chumbera.
43	<i>Aqave americana</i> L.		Pitera común.

44	<i>Ailanthus altissima</i> (Miller) Swingle.	Ailanto, árbol del cielo, zumaque falso.
45	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	Lagunilla, hierba del lagarto, huiro verde.
46	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	Ambrosia.
47	<i>Araujia sericifera</i> Brot.	Planta cruel, miraguano.
48	<i>Asparagus asparagoides</i> (L.) Druce.	Esparraguera africana.
49	<i>Azolla</i> spp.	Azolla.
50	<i>Baccharis halimifolia</i> L.	Bácaris, chilca, chilca de hoja de orzaga, carqueja.
51	<i>Buddleja davidii</i> Franchet.	Budleya, bailey, arbusto de las mariposas.
52	<i>Cabomba caroliniana</i> Gray.	Ortiga acuática.
53	<i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N. E. Br.	Hierba del cuchillo, uña de gato, uña de león.
54	<i>Crassula helmsii</i> (Kirk) Cockayne.	
55	<i>Cylindropuntia</i> spp.	Cylindropuntia.
56	<i>Egeria densa</i> Planch.	Elodea densa.
57	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.	Jacinto de agua, camalote.
58	<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Broza del Canadá, peste de agua.
59	<i>Elodea nuttallii</i> (Planch.) H. St. John.	Broza del Canadá, peste de agua.
60	<i>Fallopia baldschuanica</i> (Regel) Holub.	Viña del Tibet.
61	<i>Fallopia japonica</i> (Houtt.) (= Reynoutria japonica Houtt.).	Hierba nudosa japonesa.
62	<i>Hedychium gardnerianum</i> Shepard ex Ker Gawl.	Jengibre blanco.
63	<i>Heracleum mantegazzianum</i> Somm. & Lev.	Perejil gigante.
64	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.	Redondita de agua.
65	<i>Ludwigia</i> spp. [Excepto <i>L. palustris</i> (L.) Elliott].	Duraznillo de agua.
66	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	
67	<i>Nicotiana glauca</i> Graham.	Tabaco moruno.
68	<i>Nymphaea mexicana</i> Zucc.	Lirio Amarillo.
69	<i>Opuntia dillenii</i> (Ker-Gawler) Haw.	Tunera india.
70	<i>Opuntia maxima</i> Miller.	Tunera común.
71	<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Agrio, agrios, vinagrera, vinagreras.
72	<i>Pennisetum setaceum</i> (Forssk.) Chiov.	Plumero, rabogato, pasto de elefante.
73	<i>Pistia stratiotes</i> L. Royle.	Lechuga de agua.
74	<i>Salvinia</i> spp.	Salvinia.
75	<i>Senecio inaequidens</i> DC.	Senecio del Cabo.
76	<i>Spartina alterniflora</i> Loisel.	Borraza.
77	<i>Spartina densiflora</i> Brongn.	Espartillo.
78	<i>Spartina patens</i> (Ait.) Muhl.	
79	<i>Tradescantia fluminensis</i> Velloso.	Amor de hombre, oreja de gato.
<i>Invertebrados no artrópodos</i>		
80	<i>Achatina fulica</i> (Ferussac, 1821).	Caracol gigante africano.
81	<i>Sinanodonta woodiana</i> (Lea, 1834).	
82	<i>Bursaphelenchus xylophilus</i> (Steiner and Buhrer, 1934) Nickle, 1970.	Nemátodo de la madera del pino.
83	<i>Corbicula fluminea</i> (Muller, 1774).	Almeja de río asiática.
84	<i>Cordylophora caspia</i> (Pallas, 1771).	Hidroide esturiano.
85	<i>Crepidula fornicata</i> (Linnaeus, 1758).	
86	<i>Dreissena bugensis</i> Andrusov, 1897.	Mejillón quagga.
87	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771).	Mejillón cebra.
88	<i>Ficopomatus enigmaticus</i> (Fauvel, 1923).	Mercierella.
89	<i>Melanoides tuberculatus</i> (Muller, 1774).	Caracol trompeta.
90	<i>Mnemiopsis leidyi</i> A. Agassiz, 1865.	
91	<i>Mytilopsis leucophaeata</i> (Conrad, 1831).	Mejillón de agua salobre.
92	<i>Familia Ampullariidae</i> J. E. Gray 1824.	Caracoles manzana y otros.

93	<i>Potamocorbula amurensis</i> (Schrenck, 1861).		Almeja asiática.
94	<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (J. E. Gray, 1853).		Caracol del cieno.
95	<i>Rhopilema nomadica</i> Galil, 1990.		
96	<i>Limnoperna securis</i> (Lamarck, 1819).		Mejillón pequeño marrón.
<i>Artrópodos no crustáceos</i>			
97	<i>Dysdera crocata</i> C. L. Koch, 1838.	Canarias.	Araña roja, Disdera invasora.
98	<i>Ommatoiulus moreletii</i> (Lucas, 1860).	Canarias.	Milpiés portugués, milpiés cardador, milpiés invasor.
99	<i>Aedes albopictus</i> (Skuse, 1895).		Mosquito tigre.
100	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773).		Mariquita asiática.
101	<i>Lasius neglectus</i> (Van Loon, Boomsma & Andrásfalvy, 1990).		Hormiga invasora de jardines.
102	<i>Leptoglossus occidentalis</i> Heidemann, 1910.		Chinche americana del pino.
103	<i>Linepithema humile</i> (Mayr, 1868).		Hormiga argentina.
104	<i>Monochamus</i> spp. (especies no europeas).		
105	<i>Monomorium destructor</i> (Jerdon, 1851).		Hormiga de Singapur.
106	<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802).		Hormiga loca.
107	<i>Paysandisia archon</i> (Burmeister, 1880).		Oruga perforadora de palmeras.
108	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Olivier, 1790).		Picudo rojo, gorgojo de las palmeras.
109	<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius, 1793).		Hormiga fantasma.
110	<i>Vespa</i> spp. (especies no europeas).		
<i>Crustáceos</i>			
111	<i>Armadillidium vulgare</i> Latreille, 1804.	Canarias.	Cochinita común.
112	<i>Carcinus maenas</i> (Linnaeus, 1758).	Canarias.	Cangrejo atlántico, cangrejo verde.
113	<i>Percnon gibbesi</i> (H. Milne Edwards, 1853).	Excepto Canarias.	
114	<i>Cherax destructor</i> Clark, 1936.		Yabbie.
115	<i>Dyspanopeus sayi</i> (S. I. Smith, 1869).		
116	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky, 1894).		
117	<i>Eriocheir sinensis</i> Milne-Edwards, 1853.		Cangrejo chino.
118	<i>Orconectes limosus</i> (Rafinesque, 1817).		Cangrejo de los canales.
119	<i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852).		Cangrejo señal, cangrejo de California, cangrejo del Pacífico.
120	<i>Procambarus clarkii</i> (Girard, 1852).		Cangrejo rojo, cangrejo americano, cangrejo de las marismas.
121	<i>Rhithropanopeus harrisi</i> (Gould, 1841).		
122	<i>Triops longicaudatus</i> (Le Conte, 1846).		
<i>Peces</i>			
123	<i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758).		Alborno.
124	<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820).		Pez gato negro.
125	<i>Channa</i> spp.		Pez Cabeza de Serpiente del norte.
126	<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758.		Lucio.
127	<i>Fundulus heteroclitus</i> (Linnaeus, 1766).		Fúndulo, Pez momia.
128	<i>Australoheros facetus</i> (= <i>Herychtyx facetum</i>) (Jenyns, 1842).		Chanchito.
129	<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859.		Gambusia.
130	<i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818).		Pez gato punteado, bagre de canal.
131	<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758).		Percasol, pez sol.
132	<i>Micropterus salmoides</i> (Lacépède, 1802).		Perca americana.
133	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (Cantor, 1842).		Dojo.
134	<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758.		Perca de río.
135	<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel, 1846).		Pseudorasbora.
136	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758).		Pez escorpión, pez león.
137	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758).		Rutilo.
138	<i>Salvelinus fontinalis</i> (Mitchell, 1815).		Salvelino.

139	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758).		Lucioperca.
140	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758).		Gardí.
141	<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758.		Siluro.
Anfibios			
142	<i>Bufo marinus</i> (Linnaeus, 1758) = <i>Rhinella marina</i> .		Sapo marino.
143	<i>Duttaphrynus melanostictus</i> (Schneider, 1799).		Sapo común asiático.
144	<i>Lithobates</i> (= <i>Rana</i>) <i>catesbeianus</i> (Shaw, 1802).		Rana toro.
145	<i>Xenopus laevis</i> (Daudin, 1802).		Rana de uñas africana.
Reptiles			
146	<i>Chrysemys picta</i> (Schneider, 1783).		Tortuga pintada.
147	Todas las especies de la Familia Colubridae <i>sensu lato</i> .	Canarias, Ibiza y Formentera.	
148	<i>Elaphe guttata</i> (Linnaeus, 1766).	Baleares.	Culebra del maizal.
149	<i>Trachemys scripta</i> (Schoepff, 1792).		Galápagos americano o de Florida.
Aves			
150	<i>Acridotheres</i> spp.		Minás.
151	<i>Alopochen aegyptiacus</i> (Linnaeus, 1766).		Ganso del Nilo.
152	<i>Amandava amandava</i> (Linnaeus, 1758).		Bengalí rojo.
153	<i>Branta canadensis</i> (Linnaeus, 1758).		Barnacla canadiense.
154	<i>Coturnix japonica</i> Temminck & Schlegel, 1849.		Codorniz japonesa.
155	<i>Estrilda</i> spp.		
156	<i>Euplectes</i> spp.		
157	<i>Leiothrix lutea</i> (Scopoli, 1786).		Ruiseñor del Japón.
158	<i>Myiopsitta monachus</i> (Boddaert, 1783).		Cotorra argentina.
159	<i>Oxyura jamaicensis</i> (Gmelin, 1789).		Malvasía canela.
160	<i>Ploceus</i> spp.		
161	<i>Psittacula krameri</i> (Scopoli, 1769).		Cotorra de Kramer.
162	<i>Pycnonotus cafer</i> (Linnaeus, 1766).		Bulbul café.
163	<i>Pycnonotus jocosus</i> (Linnaeus, 1758).		Bulbul orfeo.
164	<i>Quelea quelea</i> (Linnaeus, 1758).		Quelea común.
165	<i>Streptopelia roseogrisea</i> (Sundevall, 1857).		Tórtola rosigrís.
166	<i>Threskiornis aethiopicus</i> (Latham, 1790).		Ibis sagrado.
Mamíferos			
167	<i>Ammotragus lervia</i> (Pallas, 1777).	Excepto la población de Murcia.	Arruí.
168	<i>Atelerix albiventris</i> (Wagner, 1841).		Erizo pigmeo africano.
169	<i>Hemiechinus auritus</i> (Gmelin, 1770).		Erizo egipcio u orejado.
170	<i>Herpestes javanicus</i> (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818).		Mangosta pequeña asiática.
171	<i>Mustela</i> (<i>Neovison</i>) <i>vison</i> Schreber, 1777.		Visón americano.
172	<i>Myocastor coypus</i> (Molina, 1782).		Coipú.
173	<i>Nasua</i> spp.		Coatí.
174	<i>Nyctereutes procyonoides</i> (Gray, 1834).		Perro mapache.
175	<i>Ondatra zibethicus</i> (Linnaeus, 1766).		Rata almizclera.
176	<i>Ovis musimon</i> Pallas, 1762.	Canarias.	Mufión.
177	<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758).		Mapache.
178	<i>Rousettus aegyptiacus</i> (Geoffroy, 1810).		Murciélago frugívoro egipcio.
179	<i>Rattus norvegicus</i> (Berkenhout, 1769).	Canarias.	Rata parda.
180	<i>Rattus rattus</i> (Linnaeus, 1758).	Canarias.	Rata negra.
181	<i>Familia Sciuridae</i> Hemprich, 1820 ¹ .		

Anexo II: Especies del Catálogo Español de Exóticas Invasoras detectadas en Navarra (31/12/2015)

Algas	
Especie	Nombre común
<i>Didymosphenia geminata</i> ((Lyngbye) M.Schmidt i A. Schmidt 1899)	Didymo o moco de roca
Flora	
Especie	Nombre común
<i>Acacia dealbata</i> Link.	Mimosa, acacia, acacia francesa
<i>Agave americana</i> L.	Pitera común
<i>Ailanthus altissima</i> (Miller) Swingle	Ailanto, árbol del cielo, zumaque falso
<i>Asparagus asparagoides</i> (L.) Druce	Esparraguera africana
<i>Azolla</i> spp.	Azolla
<i>Buddleja davidii</i> Franchet	Budleya, baileya, arbusto de las mariposas
<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (L.) L. Bolus	Hierba del cuchillo, uña de gato, uña de león
<i>Cortaderia</i> spp.	Hierba de la pampa, carrizo de la pampa
<i>Fallopia japonica</i> (Houtt.) (=Reynoutria japonica Houtt.)	Hierba nudosa japonesa
<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Tabaco moruno
<i>Opuntia stricta</i> (Haw.)	Chumbera
<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Agrio, agrios, vinagrera, vinagreras
Invertebrados no artrópodos	
Especie	Nombre común
<i>Corbicula fluminea</i> (Muller, 1774)	Almeja de río asiática
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	Mejillón cebra
<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (J.E.Gray, 1853)	Caracol del cieno
Artrópodos no crustáceos	
Especie	Nombre común
<i>Paysandisia archon</i> (Burmeister, 1880)	Oruga perforadora de palmeras
<i>Vespa</i> spp. (especies no europeas)	
Crustáceos	
Especie	Nombre común
<i>Cherax destructor</i> Clark, 1936	Yabbie
<i>Pacifastacus leniusculus</i> (Dana, 1852)	Cangrejo señal, cangrejo de California, cangrejo del Pacífico.
<i>Procambarus clarkii</i> (Girard, 1852)	Cangrejo rojo, cangrejo americano, cangrejo de las marismas
Peces	
Especie	Nombre común
<i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	Alborno
<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	Pez gato negro
<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	Lucio
<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859	Gambusia
<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	Percasol, pez sol
<i>Micropterus salmoides</i> (Lacépède, 1802)	Perca americana
<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	Perca de río
<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel, 1846)	Pseudorasbora
<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	Rutilo
<i>Salvelinus fontinalis</i> (Mitchell, 1815)	Salvelino
<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	Lucioperca
<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	Siluro
Anfibios	
Reptiles	
Especie	Nombre común
<i>Trachemys scripta</i> (Schoepff, 1792)	Galápago americano o de Florida
Aves	

Especie		Nombre común
Coturnix japonica Temminck & Schlegel, 1849		Codorniz japonesa
Oxyura jamaicensis (Gmelin, 1789)		Malvasía canela
Mamíferos		
Especie		Nombre común
Mustela (Neovison) vison Schreber, 1777		Visón americano
Myocastor coypus (Molina, 1782)		Coipú
Ondatra zibethicus (Linnaeus, 1766)		Rata azmilclera
Procyon lotor (Linnaeus, 1758)		Mapache

Anexo III: *Vespa velutina*: biología, ecología y otros datos de interés

Taxonomía

Nombre común: avispon asiático o avispa negra
Phylum: Arthropoda
Clase: Insecta
Orden: Hymenoptera
Familia: Vespidae
Género: *Vespa*
Especie: *velutina* (Lepeletier, 1836)
Supespecie: *nigrithorax* (du Buysson, 1905)

Estatus en Europa y en España. Origen y dispersión

Nativa del sureste asiático, su rango de distribución natural incluye Bangladesh, Bután, China (incluyendo Hong Kong), India, Indonesia, la República de Corea, Laos, Malasia, Birmania, Tailandia y Vietnam. En la República de Corea se introdujo en 2003, en la zona sur del país (Región de Yeongdo), donde se ha establecido.

Esta especie fue detectada por primera vez en Europa en el departamento de Lot-et-Garonne en Francia y se convirtió de esa manera en la primera invasión exitosa de una avispa en Europa. El origen de su introducción sigue siendo incierto. Sin embargo, los datos recogidos localmente sugieren que avispas reinas hibernantes podrían haber sido importadas accidentalmente desde China a través del comercio hortícola antes de 2004 (Villemant *et al.*, 2006). La invasión del país vecino por parte del avispon asiático ha sido muy rápida desde su introducción, confirmándose su presencia a finales de 2011 en 50 departamentos franceses, de un total de 101 existentes en el país (Rome *et al.*, 2012).

La especie ha sido localizada también en Portugal, donde varias obreras fueron capturadas en Viana do Castelo (Grosso-Silva & Maia, 2012). En Bélgica fue capturado un individuo en 2011 (Rome *et al.*, 2012; Rome *et al.*, en prensa) pero posteriormente no parece que haya habido más capturas. Más recientemente se ha destruido un nido por primera vez en Italia, en Vallecrosia, cerca de la frontera con Francia (Demichelis *et al.*, 2013).

En España la primera cita confirmada se realizó en agosto de 2010 en Amaiur, población de la comarca Navarra del Baztán (Castro & Pagola-Carte, 2010).

Ese mismo año fue detectada también en el País Vasco, en Guipúzcoa (Legazpi, Irún, Hondarribia, Oiartzun, Pasaia, Lasarte-Oria y Aduna) (López, 2011).

Actualmente, además de en el País Vasco y Navarra, la especie ha sido detectada en Cataluña en 2012, principalmente en la comarca de la Garrotxa y L'Alt Empordà. Revisando los datos, aparecieron los primeros nidos en 2012 en el Valle de Arán, pero el seguimiento posterior de estos nidos en la primavera de 2013 no ha detectado nuevas localizaciones. En Cantabria durante el año 2014 se localizaron cuatro ejemplares en una colmena cerca de Vizcaya en los municipios de Otañes y Guriezo. Este mismo año también han sido localizados ejemplares en Asturias. En Galicia está confirmada su presencia en las provincias de Lugo, La Coruña y Pontevedra. Otras comunidades autónomas, como La Rioja, donde ya se ha producido una primera cita, han puesto en marcha planes de acción para detectar su presencia. En Castilla y León también se ha dado una cita en la provincia de Burgos.

Normativa

Vespa velutina se incluye en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras (Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula dicho catálogo).

Descripción de la biología, ecología y hábitat

El avispon asiático tiene el cuerpo en su mayor parte negro y marrón oscuro, con escasos dibujos amarillos y anaranjados; hay una estrecha banda amarilla en el borde apical de los tergos primero y segundo, y la mitad posterior del metasoma presenta un diseño tricolor constituido por una banda negra que abarca la mayor parte del tercer tergo, una banda anaranjada que ocupa sobre todo el cuarto tergo, y los últimos tergos son enteramente marrón oscuro (Castro & Pagola-Carte, 2010). El avispon asiático es fácil de reconocer pues es el único avispon en Europa que presenta un aspecto tan oscuro: los

adultos son de color castaño oscuro y parecen, de lejos, como manchas oscuras sobre en el nido. La variedad *V. velutina nigrithorax* posee un tórax enteramente castaño negro aterciopelado y segmentos abdominales de color castaño ribeteado con una fina franja amarilla. Sólo el 4º segmento del abdomen es casi en su totalidad de color amarillo-naranja.

El avispón asiático es ligeramente más pequeño que la especie autóctona *Vespa crabro*, cuyas obreras miden entre 18 - 23 mm y las reinas entre 25 - 35 mm. *Vespa velutina ssp. nigrithorax* mide entre 17 y 32 mm de longitud. Las reinas suelen alcanzar las mayores tallas, por encima de los 30 mm, mientras que las obreras presentan una talla media de 25 mm. Vista de frente, la cabeza es color naranja y las patas en su parte final, amarillas.

Los nidos son grandes y de forma esférica u ovalada (normalmente sobrepasan los 40 cm de diámetro), contruidos normalmente en las copas o partes altas de los árboles y, menos frecuentemente, sobre arbustos. Aunque en Francia los nidos se han localizado principalmente sobre árboles altos (robles, álamos, acacias, coníferas) (Villemant et al., 2008), parece que su presencia en las zonas urbanas ha aumentado recientemente (López, 2011). En los periodos de máxima actividad puede haber entre 1200 y 1800 individuos dentro del nido secundario.

En relación al hábitat, *V. velutina* normalmente se distribuye en las zonas montañosas frescas de las tierras altas a lo largo de su área de distribución natural (Martin, 1995) y por ello puede que tengan cierta pre-adaptación a explorar ambientes templados (Choi et. al 2011). En la República de Corea desde la primera cita en 2003, *V. velutina* se ha extendido hacia el norte y el oeste desde el punto de origen a una velocidad de 10-20 km por año (Choi et al., 2011). En la ciudad de Busan, los nidos de *V. velutina* se encuentran principalmente en espacios abiertos que contenían arbustos y árboles (por ejemplo *Heterophyllus osmanthus*, *Pittosporum tobira*) o debajo de los aleros de edificios, ya que la zona boscosa es limitada en la ciudad (Choi et al., 2011).

Estas características son similares a las encontradas en el área de distribución natural de *V. velutina* (Matsuura, 1973; Starr, 1992; Martin, 1995). En Francia *V. velutina* nidifica en árboles altos tanto en zonas urbanas como rurales, pero evita aquellas áreas donde hay predominancia de coníferas (Roberts et al., 2010).

Como ya se ha indicado, la mayoría de los nidos de *V. velutina* están contruidos sobre las copas de los árboles y de forma ocasional en áreas no perturbadas y protegidas en edificios (escaleras, graneros abandonados, gallineros o partes de edificios, etc) o en zarzas, y muy rara vez enterrados (Martin, 1995; Rome et al., 2009). En la siguiente tabla proporcionada por CABI1 se pueden ver los tipos de hábitat afectados para los que hay información: Terrestre: Edificios, Cultivado / tierras agrícolas, Zonas alteradas, Sistemas industriales / ganaderías intensivas, Bosques, plantaciones y huertos, Vías de tren / bordes de carreteras, Zonas urbanas / periurbanas Terrestre-natural/semi-natural: Bosques, Pastizales naturales, Riberas Humedales.

Los nidos suelen ser difíciles de ver excepto en invierno cuando el árbol ha perdido la hoja. Aunque los datos indican que el 40% se han localizado en construcciones, esto no significa que ésta sea la tónica de la especie, pues existe un sesgo de hallazgo, ya que es más fácil detectar nidos en edificios que en árboles a una determinada altura. Lo más probable es que el porcentaje real de nidos en construcciones respecto al total sea mucho menor.

Descripción del hábitat y biología de la especie

Es una especie diurna, que presenta máxima actividad durante el verano, que es cuando atacan masivamente a las colmenas. Se alimenta de insectos (abejas, avispas, moscas, arañas, etc.), y en otoño de frutas (uvas, etc.), cuando están maduras. Las colonias de esta especie viven únicamente un año.

Durante el invierno las reinas hibernan. Entre febrero y marzo, las reinas que han sobrevivido al invierno, se dispersan para construir su nido. Posteriormente se inicia la puesta de la que salen avispas hembras (obreras) de huevos fecundados, las cuales trasladan el nido a zonas mas altas y la reina hace nuevas puestas de huevos no fecundados, de los que en el verano nacen avispas macho. En septiembre aproximadamente los machos se aparean con las hembras que serán las nuevas reinas fundadoras, fecundándolas y el nido empieza a declinar.

Hábitat en su área de distribución natural

Vive principalmente en bosques en el clima subtropical. La variedad *nigrithorax* se limita generalmente a zonas montañosas.

Hábitat en su área de introducción

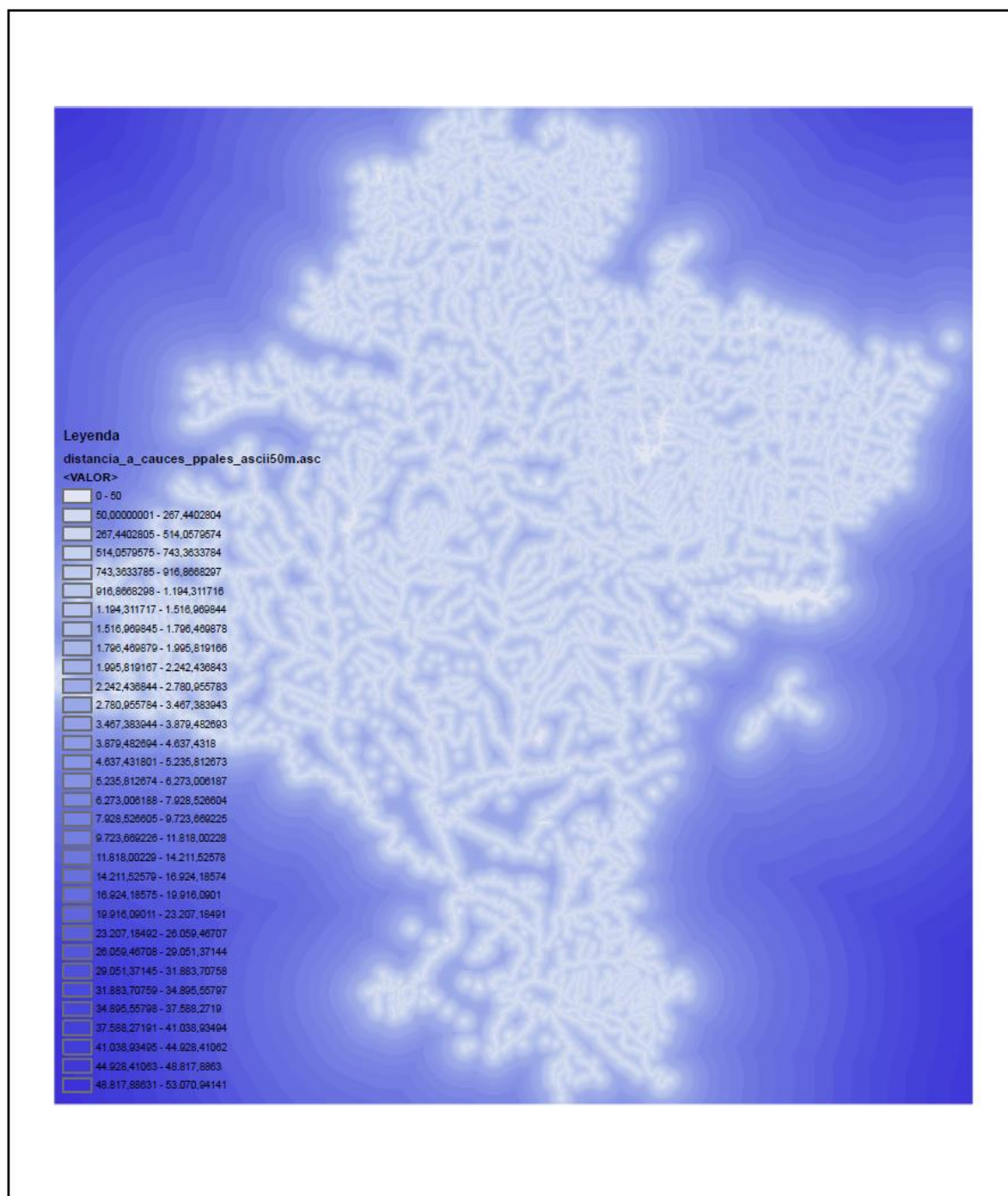
Instala su nido preferentemente en las ramas altas de los árboles, en zonas urbanas, agrícolas o zonas boscosas. Evita las poblaciones puras de coníferas. En ocasiones los nidos están alojados en construcciones abiertas, como terrazas o más raramente en agujeros de la pared, matorral o suelo.

Impactos y amenazas

- Sobre el hábitat y las especies: se comporta como especie invasora, afectando principalmente a las especies autóctonas de himenópteros, entre ellas las abejas y otras especies polinizadoras.
- Recursos económicos asociados al uso del patrimonio natural: en el verano, los ataques a colmenas son muy intensos y dañinos, atacan a las abejas cuando están fuera de la colmena y llegan cargadas de polen, después de acabar con las abejas adultas, se alimentan de las larvas de abeja que hay en las colmenas. Por lo tanto producen la pérdida de colmenas con la pérdida económica que ello conlleva. Su impacto sobre las abejas es mayor que el de la avispa autóctona (*Vespa crabro*).
- Sobre la salud humana: provoca alarma social por las consecuencias de sus picaduras, sin embargo su comportamiento y peligrosidad es similar al de la avispa autóctona.

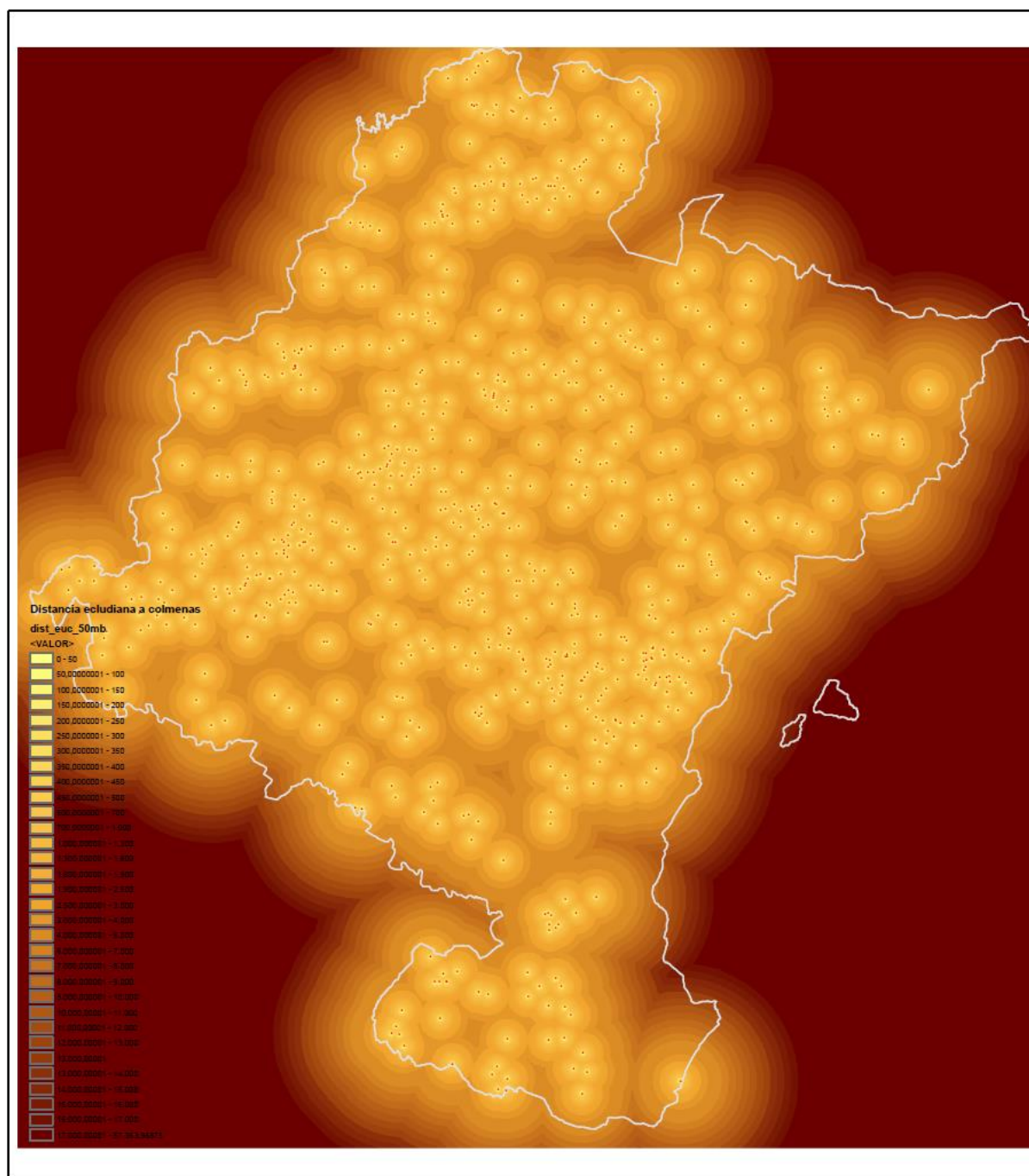
Anexo IV: variables ambientales

Distancia a cauces y superficies de agua (Raster 50m)

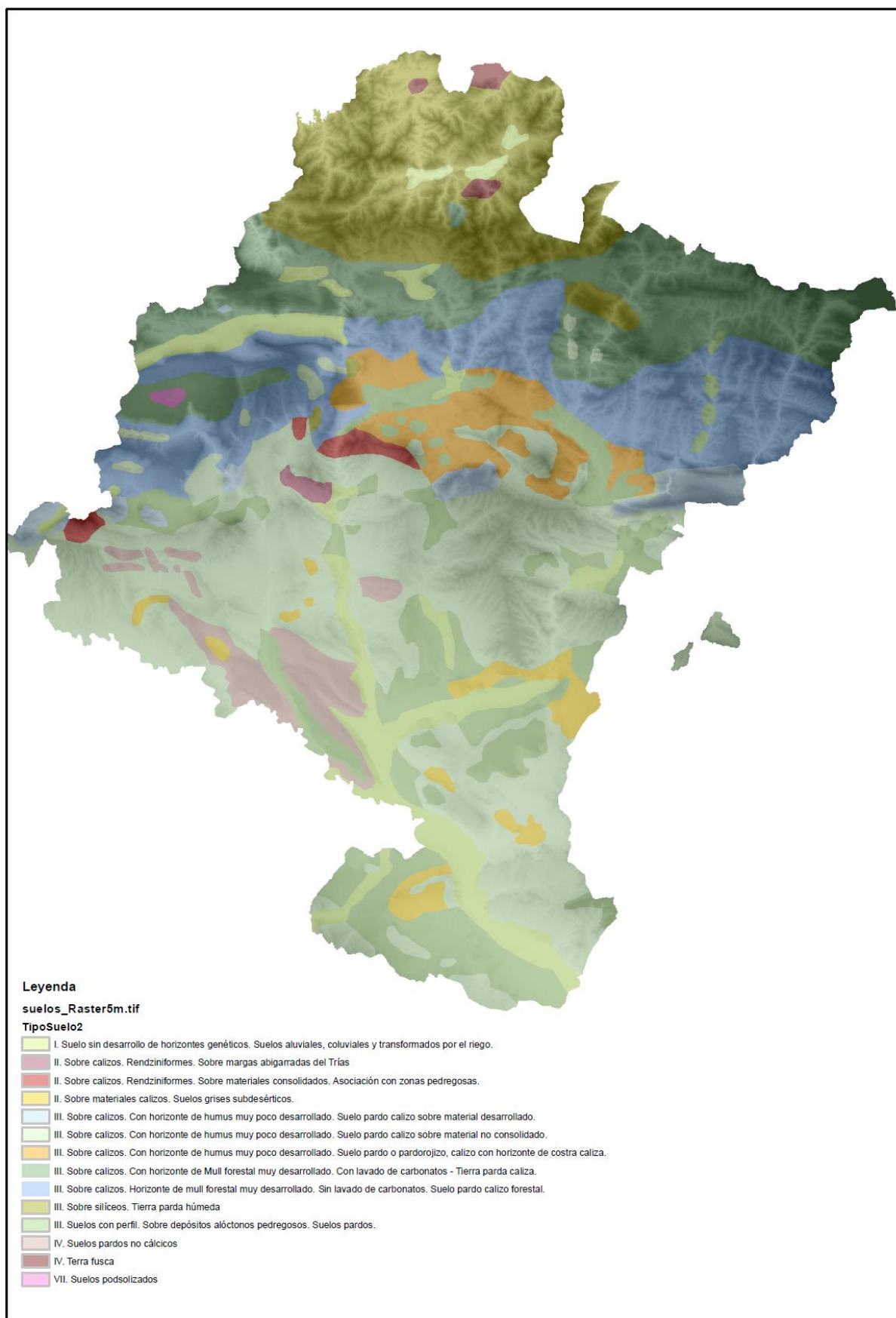




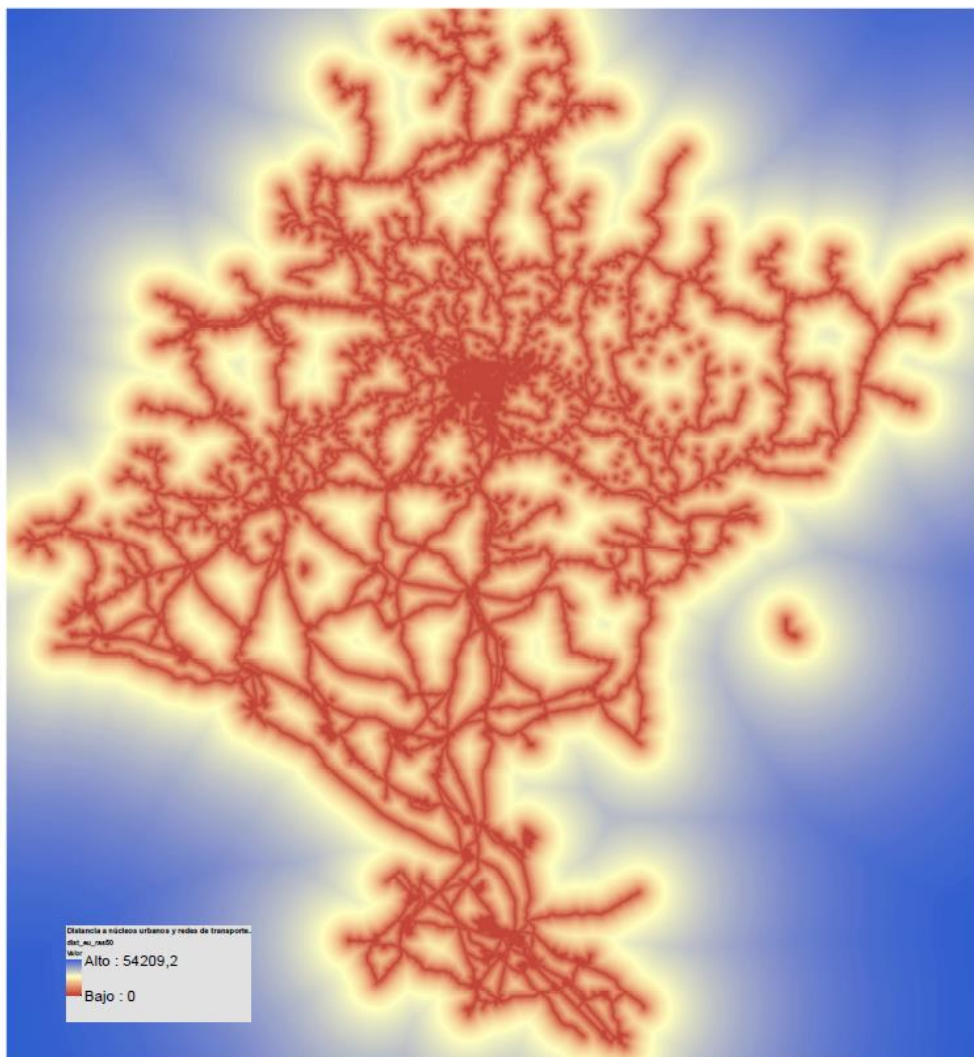
Distancia a colmenas (Raster 50m)

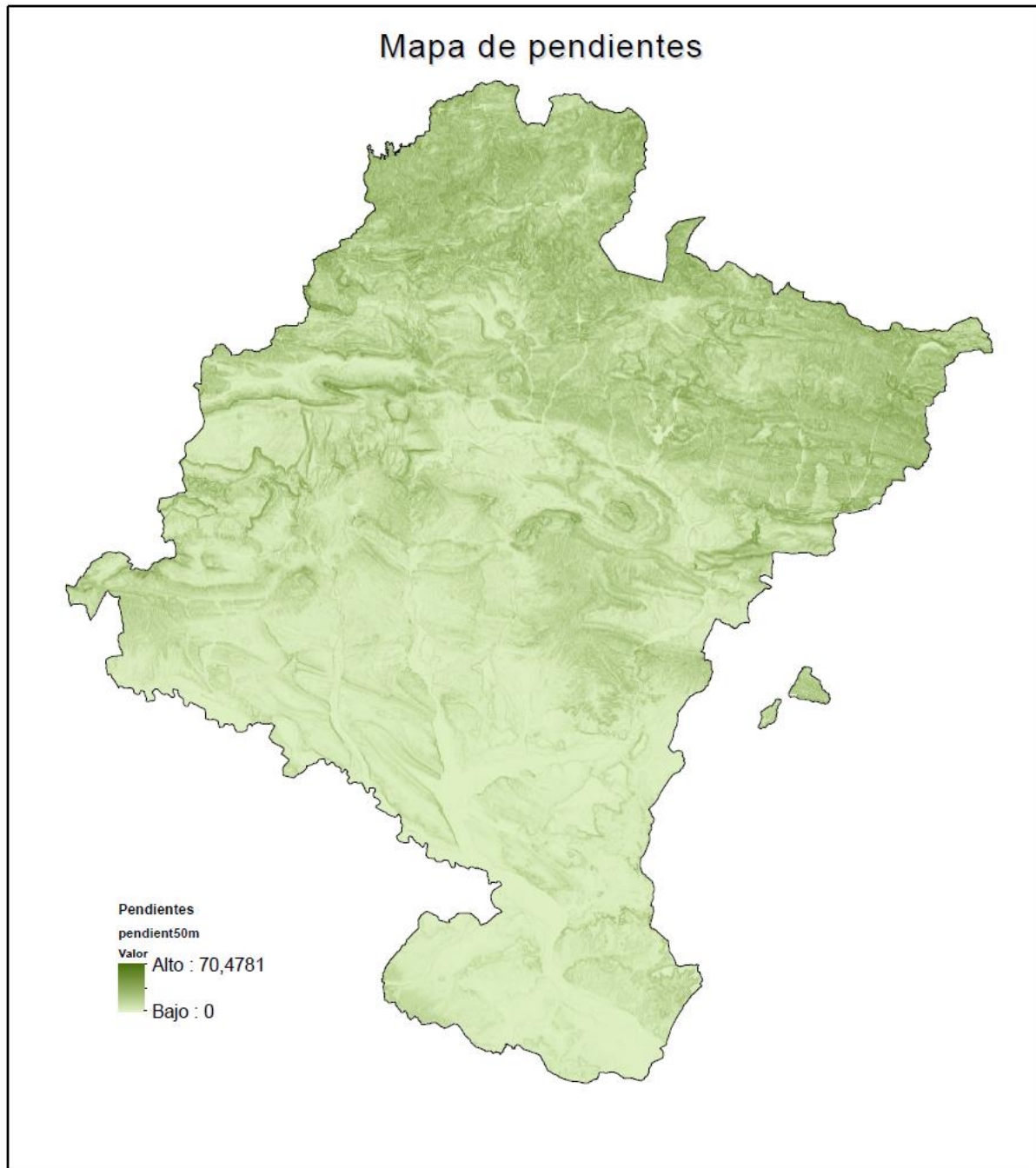


Tipos de suelo

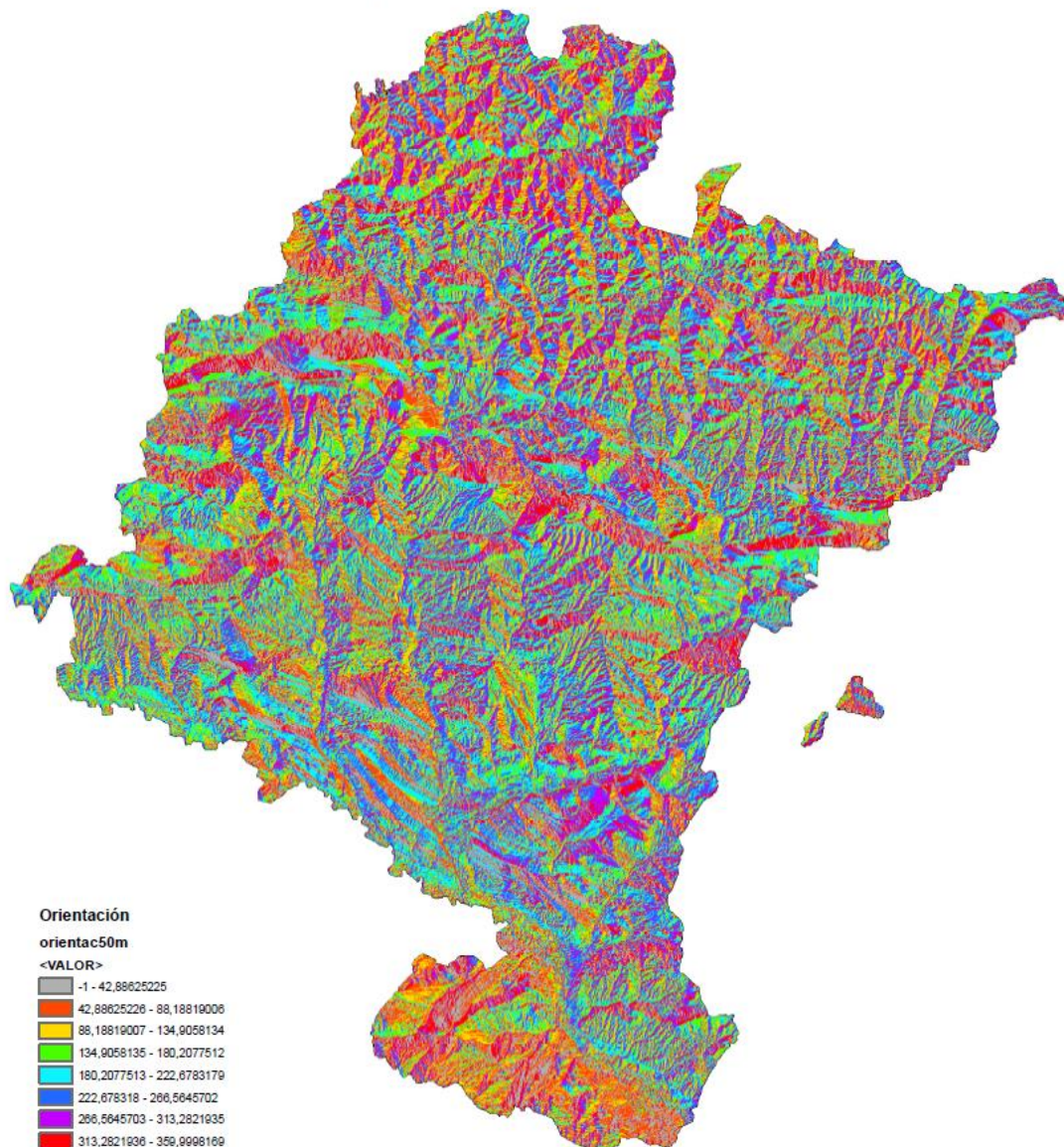


Influencia antrópica - Distancia a núcleos urbanos y redes de transporte.





Mapa de orientaciones



Anexo V: Municipios con mayor probabilidad de aparición

Probabilidad entre 0.4 y 0.59:

31 municipios

ID	MUNICIPIO
1	Abarzuza <> Abartzuza
2	Aibar <> Oibar
3	Bakaiku
4	Caseda
5	Etxarri Aranzatz
6	Noain (Valle de Elorz) <> Noain (Elortzibar)
7	Eneriz <> Eneritz
8	Ergoiena
9	Erro
10	Guesa <> Gorza
11	Iturmendi
12	Larraga
13	Legarda
14	Liedena
15	Metauten
16	Morentin
17	Muruzabal
18	Olite <> Erriberri
19	Pitillas
20	Romanzado
21	Salinas de Oro <> Jaitz
22	Sanguesa <> Zangoza
23	Unciti
24	Urdiain
25	Uterga
26	Yesa
27	Faceria 53
28	Faceria 55
29	Faceria 105
30	Beriain
31	Lekunberri

Probabilidad entre 0.6 y 0.79:

57 municipios

ID	MUNINOAC
1	Abaigar
2	Altsasu/Alsasua
3	Allin <> Allin
4	Ancin <> Antzin
5	Anue
6	Aoiz <> Agoitz
7	Arantza
8	Aranguren
9	Arakil
10	Arbizu
11	Arce <> Artzi
12	Areso

13	Arruazu
14	Artazu
15	Atez <> Atetz
16	Ayegui <> Aiegi
17	Basaburua
18	Berbinzana
19	Betelu
20	Cirauqui <> Zirauki
21	Ciriza <> Ziritza
22	Eratsun
23	Estella-Lizarrza
24	Ezkurra
25	Galar
26	Guesalaz <> Gesalatz
27	Uharte Arakil
28	Imotz
29	Ira0eta
30	Juslape0a
31	Beintza-Labaien
32	Lakuntza
33	Larraun
34	Legaria
35	Lizoain-Arriasoiti
36	Longuida <> Longida
37	Lumbier
38	Mendigorría
39	Miranda de Arga
40	Murieta
41	Oco
42	Odieta
43	Olaibar
44	Olazti/Olazagutia
45	Saldias
46	Ultzama
47	Urraul Alto
48	Urraul Bajo
49	Urroz-Villa
50	Urroz
51	Valle de Yerri <> Deierri
52	Zugarramurdi
53	Faceria 14
54	Faceria 56
55	Faceria 86
56	Berriozar
57	Irurtzun

Probabilidad entre 0.8 y 1:

51 municipios:

ID	MUNICIPIO
1	Aberin
2	Ansoain <> Antsoain
3	Araitz
4	Arano
5	Baztan
6	Belascoain
7	Bertizarana
8	Burlada <> Burlata
9	Cizur
10	Donamaria
11	Etxalar
12	Echarri <> Etxarri
13	Etxauri
14	Valle de Egues <> Eguesibar
15	Elgorriaga
16	Esteribar
17	Ezcabarte
18	Goizueta
19	Guirguillano
20	Huarte <> Uharte
21	Iguzquiza
22	Ituren
23	Iza <> Itza
24	Beintza-Labaien
25	Leitza
26	Lesaka
27	Ma/eru
28	Obanos
29	Oiz
30	Cendea de Olza <> Oltza Zendea
31	Valle de Olló/Ollaran
32	Pamplona <> Irula
33	Puente la Reina <> Gares
34	Doneztebe/Santesteban
35	Sunbilla
36	Urdazubi/Urdax
37	Luzaide/Valcarlos
38	Bera
39	Bidaurreta
40	Villatuerta
41	Villava <> Atarrabia
42	Igantzi
43	Zabalza <> Zabaltza
44	Zubieta
45	Faceria 50
46	Faceria 87
47	Faceria 91
48	Bara4ain <> Baratain
49	Berrioplano <> Berriobeiti
50	Orkoien
51	Zizur Mayor <> Zizur Nagusia

Agradecimientos

En estas líneas quiero manifestar mi agradecimiento al Departamento de Medioambiente, Desarrollo Rural y Administración Local del Gobierno de Navarra, y particularmente al Servicio de Innovación y Conocimiento en Sostenibilidad Territorial y Ambiental, y al Servicio de Economía Circular y Agua, por haber puesto a mi disposición todos los recursos materiales y humanos que he necesitado durante mi estancia allí, y por haberme permitido incorporarme a algunas de las labores del Departamento para garantizar mi formación y desarrollo profesional.

Más especialmente, quiero agradecer a Jokin Larumbe y Eduardo de la Cruz, que han co-dirigido este trabajo, por su constante apoyo y su contribución a que el proyecto tenga sentido práctico y haya supuesto algo más que una herramienta de aprendizaje.

También quiero dar las gracias a Ana Fernández Militino por su disponibilidad absoluta y sus aportaciones desde el Departamento de Estadística e Investigación operativa de la Universidad Pública de Navarra.

La preparación de este Trabajo Fin de Master no hubiera sido posible sin la participación de estas personas, que han contribuido con su conocimiento, generosidad y trabajo a que haya llegado a buen puerto.

TÍTULO DEL TFM:

Diseño de metodología y desarrollo de recursos para la modelización de Especies Exóticas Invasoras; análisis de su aplicabilidad en el caso de Vespa velutina

AUTORA:

Miriam Ruiz de Larramendi Fortún

FECHA:

Septiembre 2017